Manual de Avaliação da Pegada Hídrica

Estabelecendo o Padrão Global

Arjen Y. Hoekstra,
Ashok K. Chapagain,
Maite M. Aladaya e
Mesfin M. Mekonnen

Manual de Avaliação da Pegada Hídrica

Manual de Avaliação da Pegada Hídrica

Estabelecendo o Padrão Global

Arjen Y. Hoekstra, Ashok K. Chapagain,
Maite M. Aldaya and Mesfin M. Mekonnen

Publicado originalmente em 2011 pela Earthscan

Copyright © Water Footprint Network 2011

Todos os direitos reservados. Nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida, armazenada em sistemas de recuperação, transmitida por qualquer forma ou meio eletrônico, mecânico, fotocópia, gravação ou de qualquer outra maneira, exceto como expressamente permitido por lei, sem a permissão prévia escrita do publicador.

Manual de Avaliação da Pegada Hídrica: Estabelecendo o Padrão Global / Arjen Y. Hoekstra et al.
Inclui índices e referência bibliográfica.

1. Métricas de Consumo de Água. 2. Contabilidade Hídrica 3. Aspectos ambientais do consumo de água 4. Contabilização do abastecimento de água.

Tradução para o Português:
Solução Supernova

Revisão da Tradução:
Maria Cláudia Paroni

Revisão Técnica:
Henrique Marinho Leite Chaves

Revisão Final:
Denise Taffarello
Albano Araújo

A tradução do 'Manual de Avaliação da Pegada Hídrica – Estabelecendo o Padrão Global' para o português foi financiada e coordenada pelo Instituto de Conservação Ambiental The Nature Conservancy do Brasil em parceria com a Water Footprint Network.

A revisão da tradução teve o apoio da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo – SMA-SP e da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo – EESC-USP.

Sumário

Lista de figuras, tabelas e quadros *ix*
Agradecimentos *xiii*
Prefácio *xvii*
Siglas *xix*

1. Introdução **1**
1.1 Antecedentes 1
1.2 O conceito de pegada hídrica 2
1.3 Avaliação da pegada hídrica 3
1.4 Guia para o leitor 5

2. Objetivos e Escopos da Avaliação da Pegada Hídrica **7**
2.1 Objetivos da avaliação da pegada hídrica 7
2.2 Escopo da contabilização da pegada hídrica 9
2.3 Escopo da avaliação de sustentabilidade da pegada hídrica 14
2.4 Escopo da formulação das respostas da pegada hídrica 16

3. O Cálculo da Pegada Hídrica **17**
3.1 A apropriação da água pelo homem: O que calculamos e por quê? 17
3.2 A coerência entre os diferentes tipos de cálculo da pegada hídrica 19
3.3 A pegada hídrica de um passo do processo 23
3.3.1 A pegada hídrica azul 23
3.3.2 Pegada hídrica verde 27
3.3.3 A pegada hídrica cinza 28
3.3.4 O cálculo da pegada hídrica verde, azul e cinza de uma plantação ou cultura em desenvolvimento 37
3.4 A pegada hídrica de um produto 42
3.4.1 Definição 42
3.4.2 Esquematização do sistema de produção em passos do processo 43
3.4.3. O cálculo da pegada hídrica de um produto 44
3.5 A pegada hídrica de um consumidor ou grupo de consumidores 47
3.5.1 Definição 47
3.5.2 O cálculo 48
3.6 A pegada hídrica dentro de uma área delimitada geograficamente 49
3.6.1 Definição 49
3.6.2 O cálculo 49

3.7 A contabilidade da pegada hídrica nacional 50
3.7.1 Esquema de contabilidade da pegada hídrica nacional 50
3.7.2 O cálculo da pegada hídrica dentro de um país 52
3.7.3 O cálculo da pegada hídrica do consumo nacional 52
3.7.4 A economia de água relacionada ao comércio internacional 56
3.7.5 A dependência nacional de água versus a autossuficiência 57
3.8 O cálculo da pegada hídrica em bacias hidrográficas 57
3.9 O cálculo da pegada hídrica para municípios, estado ou outras unidades administrativas 59
3.10 A pegada hídrica de uma empresa 59
3.10.1 Definição 59
3.10.2 A escolha dos limites organizacionais da empresa 62
3.10.3 O cálculo da pegada hídrica de uma empresa 64
Notas 67

4. Avaliação da Sustentabilidade da Pegada Hídrica 69
4.1 Introdução 69
4.2 Sustentabilidade Geográfica: a sustentabilidade da pegada hídrica dentro de uma bacia hidrográfica 71
4.2.1 Introdução 71
4.2.2 Critério de sustentabilidade ambiental para identificar pontos críticos 74
4.2.3 Critérios de sustentabilidade social para identificar pontos críticos sociais 82
4.2.4 Critérios de sustentabilidade para identificar pontos críticos econômicos 83
4.2.5 Avaliando os impactos primários e secundários nos pontos críticos identificados 83
4.3 Sustentabilidade da pegada hídrica de um processo 84
4.4 A sustentabilidade da pegada hídrica de um produto 86
4.4.1 Identificando os componentes insustentáveis da pegada hídrica de um produto 86
4.4.2 Índices de impacto da pegada hídrica que refletem impactos ambientais locais 88
4.5 A sustentabilidade da pegada hídrica de uma empresa 91
4.6 A sustentabilidade da pegada hídrica de um consumidor 91

5. Opções de medidas para a redução da pegada hídrica 93
5.1 Responsabilidade compartilhada 93
5.2 Redução da pegada hídrica da humanidade: O que é possível? 93
5.3 Consumidores 99
5.4 Empresas 100
5.5 Agricultores 102
5.6 Investidores 103
5.7 Governo 104

6. Limitações **109**

7. Desafios futuros **113**
7.1 Metodologia e dados da avaliação de pegada hídrica 113
7.2 Aplicação da pegada hídrica em diferentes contextos 116
7.3 Incorporando a pegada hídrica aos cálculos e relatórios hídricos e ambientais 117
7.4 A Relação da pegada hídrica com os métodos das pegadas ecológica, de energia e de carbono 118
7.5 Relação da pegada hídrica com a análise de fluxo de materiais, a modelagem insumo-produto e a avaliação do ciclo de vida 119

8. Conclusão **123**

Anexo I *Cálculo das Evapotranspirações Verde e Azul usando o modelo CROPWAT* *125*
Anexo II *Calculando a pegada hídrica do processo do desenvolvimento de uma cultura: um exemplo da produção de beterraba em Valladolid (Espanha)* *129*
Anexo III *Exemplo de cálculo da pegada hídrica de um produto: açúcar refinado em Valladolid (Espanha)* *139*
Anexo IV *Exemplos de cálculos da pegada hídrica cinza* *143*
Anexo V *Demandas de vazão ambiental* *147*
Anexo VI *Perguntas Frequentes* *151*

Referências Bibliográficas *163*
Lista de símbolos *179*
Glossário *183*

Lista de figuras, tabelas e quadros

Lista de figuras

1.1 Representação esquemática dos componentes de uma pegada hídrica. Mostra que o uso não-consuntivo da água captada (a vazão de retorno) não faz parte da pegada hídrica. Também mostra que, ao contrário da medida da 'captação de água', a 'pegada hídrica' inclui as águas verde e cinza e o componente do uso indireto da água 3

1.2 Quatro fases distintas na avaliação da pegada hídrica 4

3.1 As pegadas hídricas azul e verde em relação ao balanço hídrico de uma bacia hidrográfica 18

3.2 Pegadas hídricas de processo como a unidade básica para todas as outras pegadas hídricas 20

3.3 Pegada hídrica direta e indireta em cada estágio da cadeia de suprimento de um produto de origem animal 21

3.4 A relação entre a pegada hídrica do consumo nacional e a pegada hídrica dentro de um país, em um exemplo simplificado de dois países que mantêm relações comerciais 22

3.5 O cálculo da pegada hídrica azul no caso da reciclagem e do reuso da água 26

3.6 Os processos subsequentes da irrigação: armazenamento e transporte de água, irrigação no campo. Cada passo do processo tem a sua própria pegada hídrica 40

3.7 Esquematização do sistema de produção do produto 'p' em 'k' passos de processo. Alguns passos ocorrem em série, outros em paralelo. A pegada hídrica do produto final 'p' é calculada como a soma das pegadas hídricas dos processos que compõem o sistema de produção. Nota: este esquema simplificado pressupõe que 'p' é o único produto final proveniente do sistema de produção 44

3.8 Esquematização do último passo do processo no sistema de produção do produto 'p'. A pegada hídrica do produto final 'p' é calculada com base nas pegadas hídricas dos insumos e na pegada hídrica do processo quando os insumos geram os produtos finais 45

3.9 Esquema de cálculo da pegada hídrica nacional. O esquema de cálculo apresenta os diversos balanços da pegada hídrica relacionados ao consumo nacional ($PH_{cons,país}$), a pegada hídrica no território do país ($PH_{área,país}$), a exportação total de água virtual (V_e) e a importação total de água virtual (V_i) 52

3.10 Esquema de cálculo da pegada hídrica de uma bacia hidrográfica. O esquema de cálculo mostra os diversos balanços relacionados à pegada hídrica dos consumidores que habitam a região onde está localizada a bacia hidrográfica, a pegada hídrica da área da bacia hidrográfica, a exportação total de água virtual da bacia hidrográfica e a importação total de água virtual da bacia hidrográfica 58
3.11 Composição da pegada hídrica de uma empresa 60
3.12 Empresas que possuem três unidades que produzem produtos A-C. A entrada do produto *Iu*[*x*,*i*] se refere ao volume anual de insumo *i* da fonte *x* na unidade de negócio *u*. A saída do produto *Pu*[*p*] se refere ao volume anual de produto final *p* da unidade de negócio *u*. O fluxo de produto *P*u*[*p*] se refere à parte do *Pu*[*p*] que é encaminhada para outra unidade de negócio, dentro da mesma empresa 64
4.1 Avaliação da sustentabilidade da pegada hídrica dentro de uma bacia hidrográfica em quatro passos 73
4.2 A pegada hídrica azul durante um ano comparada com a disponibilidade de água azul, sendo que a última é igual à vazão (em condições originais) menos as demandas de vazão ambiental 78
II.1 Estação climática em Valladolid (Espanha) (ponto preto) e área colhida de beterraba na Espanha (unidade: proporção da área da célula da grade) 130
III.1 Diagrama da produção de açúcar refinado (de beterraba) na Espanha, incluindo as frações de produto 139

Lista de tabelas

2.1 Explicação espaço-temporal na contabilização da pegada hídrica 12
3.1 Exemplos de componentes da pegada hídrica de uma empresa 60
4.1 Exemplo de como avaliar até onde a pegada hídrica de um produto é sustentável, com base em dois critérios: sustentabilidade geográfica das pegadas hídricas nas bacias hidrográficas em que os passos do processo estão localizados e a sustentabilidade dos próprios passos do processo. Os componentes prioritários na pegada hídrica de um produto podem ser identificados com base nos componentes que são considerados insustentáveis e na proporção de um componente na pegada hídrica total do produto. A tabela precisa ser preenchida separadamente para as pegadas hídricas verde, azul e cinza do produto 87
5.1 Possíveis metas de redução da pegada hídrica por setor por componente da pegada hídrica 95
5.2 Prioridades na redução da pegada hídrica 97
5.3 Opções de redução da pegada hídrica corporativa 101
5.4 Opções de redução da pegada hídrica para agricultores 103
5.5 Opções de redução de pegadas hídricas e mitigação de seus impactos por parte de governos 106

7.1	Uma visão geral dos estudos de pegada hídrica	116
7.2	Como as avaliações da pegada hídrica podem ser utilizadas na ACV	120
II.1	Datas de plantio e colheita e produtividade de beterraba em Valladolid (Espanha)	130
II.2	Evapotranspiração total das águas verde e azul, com base na tabela de resultados DHC do CROPWAT 8.0	130
II.3	Calendário de irrigação no cenário de sequeiro: tabela de resultados do CROPWAT 8.0	133
II.4	Calendário de irrigação no cenário de irrigação: tabela de resultados do CROPWAT 8.0	135
II.5	Cálculo dos componentes verde e azul da pegada hídrica do processo (m^3/ton) da beterraba em Valladolid (Espanha), utilizando a opção DHC e a opção do calendário de irrigação para um solo médio	137
II.6	Cálculo do componente cinza da pegada hídrica do processo (m^3/ton) da beterraba em Valladolid (Espanha)	138
III.1	Pegadas hídricas verde, azul e cinza da beterraba em Valladolid (Espanha) (m^3/ton)	141

Lista de Quadros

2.1	Objetivos da avaliação da pegada hídrica	8
2.2	Há 'escopos' no cálculo da pegada hídrica como ocorre no caso do cálculo da pegada corporativa de carbono?	13
3.1	A relação entre os diferentes tipos de pegadas hídricas	20
3.2	Unidade da pegada hídrica	22
3.3	Fontes de dados para o cálculo de uma pegada hídrica azul	24
3.4	A origem do conceito da pegada hídrica cinza	28
3.5	O conceito de carga crítica	31
3.6	A pegada hídrica cinza em diferentes casos de poluição de fonte pontual	33
3.7	Abordagem de três níveis para a estimativa das cargas de poluição difusa	34
3.8	Fontes de dados para o cálculo da pegada hídrica de 'de uma cultura em desenvolvimento'	40
3.9	Terminologia: pegada hídrica, conteúdo de água virtual, água incorporada	42
3.10	O que há de novo para as empresas ao considerar a pegada hídrica de seus negócios?	62
4.1	A origem da avaliação de sustentabilidade da pegada hídrica	69
4.2	O critério de sustentabilidade para o uso e a alocação da água dentro de uma bacia hidrográfica	72
4.3	Necessidade ambiental de água verde	75
4.4	O efeito da pegada hídrica verde com relação à disponibilidade de água azul	77
4.5	A sustentabilidade da pegada hídrica azul depende de como ela afeta as vazões e as reservas de água azul	79

4.6 Como a 'escassez de água azul', definida nos estudos relacionados à pegada hídrica, difere dos indicadores convencionais de escassez de água 81
5.1 Água Neutro 97
5.2 Compensação da pegada hídrica 99

Agradecimentos

Este manual foi escrito com a valiosa ajuda de muitas organizações e indivíduos. Primeiramente gostaríamos de agradecer a todos os parceiros da Rede da Pegada Hídrica (Water Footprint Network) que contribuíram de muitas maneiras diferentes para o amadurecimento do conceito da Pegada Hídrica. Nós agradecemos as seguintes 130 organizações, todas parceiras da Rede (em 16 de outubro de 2010): ADAS (Reino Unido), Adecagua (Espanha), Allenare Consultores (México), Aliança pelo Uso Responsável da Água – Alliance for Water Stewardship (EUA/Austrália), AmBev – Companhia de Bebidas das Américas (Brasil), APESA (França), Arup (Reino Unido), Association du Flocon à la Vague (França), ATA – Ativos Técnicos e Ambientais (Brasil), Instituto Austríaco de Tecnologia (Áustria), Barilla (Itália), Universidade Florestal de Pequim (China), Consultores Bianconi (Reino Unido), Bionova (Finlândia), Blonk Milieu Advies (Holanda), C&A (Alemanha), CEIGRAM – Centro de Pesquisa para o Gerenciamento de Riscos Agrícolas e Ambientais Universidade Técnica de Madri (Espanha), CESTRAS – Centro de Estudos e Estratégias para a Sustentabilidade (Portugal), Comissão de Mudança Climática (Filipinas), Coca-Cola Grega (Grécia), Confederação das Indústrias de Papel da Europa (Bélgica), Conselho Consultivo da Água - CONAGUA (México), Conservação Internacional – CI (EUA), CREM (Holanda), CSE – Centro para a Sustentabilidade e Excelência (Grécia), CSQA Certificação (Itália), Universidade de Tecnologia do Chipre (Chipre), Decide Soluções Estratégicas (México), Denkstatt (Áustria), DHV (Holanda), Diretoria-Geral para Recursos Hídricos (Holanda), Companhia de Alimentos Dole (EUA), Eawag – Instituto Federal Suíço de Ciência e Tecnologia Aquática (Suíça), Ecolife (Bélgica), Ecologic – Instituto para a Política Ambiental Européia e Internacional (Alemanha), Sociedade Ecológica para a África Oriental (Quênia), Ecometrica (Reino Unido), EcosSistemas Soluções Sustentáveis (Brasil), EMWIS – Sistema de Informações Euro-Mediterrâneo para o conhecimento no Setor de Água (França), Enzen Water (Reino Unido), EPAL – Empresa Portuguesa de Águas Livres (Portugal), Fibria Celulose (Brasil), First Climate (Alemanha), FloraHolland (Holanda), Federação de Alimentos e Bebidas (Reino Unido), Fundação Centro das Novas Tecnologias de Água (CENTA) (Espanha), Fundação Chile (Chile), Geoklock – Consultoria e Engenharia Ambiental (Brasil), Rede Global da Pegada – Global Footprint Network (EUA), GRACE (EUA), Green Soluções (Chile), Grontmij (Holanda), Heineken (Holanda), Fundação iMdea Água (Espanha), Instituto de Manejo Sustentável de Terras (Alemanha), IFC – International Finance Corporation (EUA), IWMI – Instituto Internacional de Gerenciamento dos

Recursos Hídricos (Sri Lanka), Sistemas de Irrigação Jain (Índia), Jutexpo (Reino Unido), Universidade de Kingston (Reino Unido), KWR – Instituto de Pesquisa do Ciclo Hidrológico (Holanda), Lafarge (França), Instituto Leibniz de Engenharia Agrícola em Potsdam-Bornim (Alemanha), LimnoTech (EUA), Live Earth (EUA), Fundação Marcelino Botín – O Observatório da Água (Espanha), Universidade Massey– Grupo de Solo e Ciências da Terra (Nova Zelândia), Indústria de Produtos Alimentícios McCain (França), Universidade Tecnológica de Michigan – Centro para a Água e a Sociedade (EUA), Associação Nacional de Água Subterrânea (EUA), Universidade Nacional de Córdoba (Argentina), Natura Cosméticos (Brasil), Nestlé (Suíça), Aliança da Água da Holanda (Holanda), Next Planet ASBL (Bélgica), Oranjewoud (Holanda), Instituto do Pacífico para estudos em Desenvolvimento, Meio Ambiente e Segurança (EUA), Parceiros pela Inovação (Holanda), PE Internacional (Alemanha), People 4 Earth (Holanda), PepsiCo (EUA), Centro de Pesquisa de Plantas e Alimentos (Nova Zelândia), PRé Consultoria (Holanda), PricewaterhouseCoopers, Província de Overijssel (Holanda), PTS – Fundação Tecnológica do Papel (Alemanha), Pyramid – Desenvolvedores de Recursos Sustentáveis (Austrália), Quantis (Suíça), Química do Campo (Chile), Raisio (Finlândia), Redevco (Holanda), Renault (França), RodaxAgro (Grécia), Royal Haskoning (Holanda), SABMiller (Reino Unido), Fundação Água Potável Segura (Canada), SERI – Instituto de Pesquisa Europa Sustentável (Áustria), Smart Approved WaterMark (Austrália), Soil & More Internacional (Holanda), Source 44 (EUA), Stora Enso (Suécia), Tecnologias Ambientais Summa (Ecuador), Agência de Desenvolvimento da Suíça Swiss (Suíça), The Coca- Cola Company (EUA), TNC – The Nature Conservancy (EUA), Tobco (Bélgica), PNUMA (França), UNESCO-IHE – Instituto para a Educação em Recursos Hídricos (Holanda), Unilever (Reino Unido), Universidade do Chile (Chile), Universidade de Recursos Naturais e Ciências da Vida Aplicadas (Áustria), Universidade de São Paulo – Escola de Engenharia de São Carlos (Brasil), Universidade de São Paulo – GovÁgua (Brasil), Universidade de Siena (Itália), Universidade de Tokyo (Japan), Universidade de Twente (Holanda), Universidade de Zaragoza (Espanha), Corporação UPM-Kymmene (Finlândia), Corporação URS (Reino Unido), USAID – Agência dos Estados Unidos da América para o Desenvolvimento Internacional (EUA), Vewin – a Associação Holandesa das Companhias de Abastecimento de Água (Holanda), Vinha Concha y Toro (Chile), Vinha De Martino (Chile), Vinha Errazuriz (Chile), Fundação Água Neutro (África do Sul), Estratégia de Água (Reino Unido), Wildlife Trust (EUA), WBCSD – Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável (Suíça), WWF – organização de conservação global (Suíça) e Tecnologias de Emissão Zero (Espanha).

Nós agradecemos aos membros do Grupo de Trabalho da Pegada Hídrica Cinza da Rede da Pegada Hídrica, que fizeram uma revisão crítica do conceito da pegada hídrica cinza e forneceram sugestões valiosas para aperfeiçoar as definições e diretrizes: Jose Albiac (CITA, Espanha), Maite Aldaya (Universidade de Twente, Holanda), Brent Clothier (Centro de Pesquisa de Plantas e Alimentos, Nova Zelândia), James Dabrowski (CSIRO, África do Sul), Liese Dallbauman (Pepsi, Reino Unido), Axel Dourojeanni (Fundação Chile, Chile), Piet Filet (WWF, Austrália), Arjen Hoekstra (Universidade

de Twente, Holanda), Mark Huijbregts (Universidade Radboud, Holanda), Marianela Jiménez (Nestlé, Suíça), Greg Koch (The Coca Cola Company, EUA), Marco Mensink (CEPI, Bélgica), Angel de Miguel García (Fundação iMdea Água, Espanha), Jason Morrison (Instituto Pacífico, EUA), Juan Ramon Candia (Fundação Chile, Chile), Todd Redder (Limnotech, EUA), Jens Rupp (Coca-Cola, Grécia), Ranvir Singh (Universidade Massey, Nova Zelândia), Alistair Wyness (Corporação URS, Reino Unido), Erika Zarate (WFN, Holanda), Matthias Zessner (Universidade de Tecnologia de Viena, Áustria) and Guoping Zhang (WFN, Holanda).

Um segundo grupo de trabalho da Rede da Pegada Hídrica fez a revisão técnica e propôs aperfeiçoamentos no método de análise de sustentabilidade da pegada hídrica. Somos gratos a todos os seus membros: Maite Aldaya (Universidade de Twente, Holanda), Upali Amarasinghe (IWMI, Sri Lanka), Fatima Bertran (Denkstatt, Áustria), Sabrina Birner (IFC, EUA), Anne-Leonore Boffi (WBCSD, Suíça), Emma Clarke (Pepsi, Reino Unido), Joe DePinto (Limnotech, EUA), Roland Fehringer (Denkstatt, Áustria), Carlo Galli (Nestlé, Suíça), Alberto Garrido (Universidade Técnica de Madri, Espanha), Arjen Hoekstra (Universidade de Twente, Holanda), Denise Knight (Coca-Cola, EUA), Junguo Liu (Universidade Florestal de Pequim, China), Michael McClain (UNESCO-IHE, Holanda), Marco Mensink (CEPI, Bélgica), Jay O'Keeffe (UNESCO-IHE, Holanda), Stuart Orr (WWF, Suíça), Brian Richter (TNC, EUA), Hong Yang (EAWAG, Suíça) e Erika Zarate (WFN, Holanda).

Também agradecemos aos membros do Comitê de Revisão Científica, que revisou a versão preliminar deste manual: Huub Savenije (Universidade Delft de Tecnologia, Holanda), Alberto Garrido (Universidade Técnica de Madri, Espanha), Junguo Liu (Universidade Florestal de Pequim, China), Johan Rockström (Universidade e Instituto Ambiental de Estocolmo, Suécia), Pasquale Steduto (FAO, Itália) e Mathis Wackernagel (Rede Global da Pegada, EUA). Agradecemos ainda a Brian Richter (TNC, EUA) pela revisão da versão preliminar do capítulo de avaliação de sustentabilidade.

Houve muitas outras contribuições valiosas. Não é possível mencionar as centenas de indivíduos e organizações que contribuíram com considerações sobre o conceito e a aplicação da pegada hídrica por correio eletrônico ou contato pessoal. Gostaríamos de mencionar, entretanto, pelo menos a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), em particular Giovanni Muñoz, pela valiosa orientação em relação ao modelo CROPWAT; o Banco Mundial, particularmente Mei Xie, pela cooperação no desenvolvimento de vários materiais de treinamento sobre a pegada hídrica. O Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável (WBCSD) pela organização de uma importante oficina de trabalho sobre pegada hídrica em Montreux, Suíça, em março de 2010; à Mesa Redonda Ambiental da Indústria de Bebidas (BIER) por avaliar as implicações específicas da pegada hídrica do setor e à Soil & More Internacional por prover uma extensa contribuição sobre a influência do manejo do solo sobre a pegada hídrica da produção agrícola.

Nós agradecemos às instituições dos autores por permitir que eles dedicassem tempo para preparar e escrever o manual: Universidade de Twente, à qual estão vinculados Arjen Hoekstra e Mesfin Mekonnen e anteriormente Maite Aldaya; WWF - Reino

Unido – instituição de Ashok Chapagain; o Centro de Pesquisas de Gerenciamento de Riscos Agrícolas e Ambientais (CEIGRAM) da Universidade Técnica de Madri, empregador original de Maite Aldaya e ao PNUMA – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente – atual empregador de Maite Aldaya.

Finalmente, agradecemos à equipe da Rede da Pegada Hídrica por sua dedicação contínua, suas contribuições ao avanço do pensamento, aplicação e disseminação da pegada hídrica e pela sua amizade: Derk Kuiper, Erika Zarate e Guoping Zhang. Agradecimentos a Joshua Waweru e Joke Meijer-Lentelink pelo seu suporte administrativo e a René Buijsrogge pela sua ajuda na manutenção da página da Pegada Hídrica na internet.

Prefácio

Este Manual contém o padrão global para a 'avaliação da pegada hídrica' como desenvolvido e mantido pela Rede da Pegada Hídrica (Water Footprint Network – WFN). Ele cobre um conjunto compreensível de definições e métodos para a contabilização da pegada hídrica e mostra como ela é calculada para produtos e processos individuais, bem como para consumidores, países e empresas. O Manual também inclui métodos para avaliação da sustentabilidade e uma biblioteca de opções de resposta à pegada hídrica.

Um padrão compartilhado de definições e métodos de cálculo é crucial devido ao rápido crescimento do interesse de empresas e governos em usar a contabilização da pegada hídrica como base para formular políticas e estratégias de uso sustentável da água.

Este Manual foi preparado pelos autores conforme solicitado pela WFN. O presente manual é uma versão atualizada, revisada e expandida da primeira edição que foi publicada pela WFN em novembro de 2009 (Hoekstra et al, 2009a). Esta nova edição foi produzida após consultas intensas com parceiros e pesquisadores em todo o mundo. Imediatamente após a publicação da 1ª edição do Manual de Avaliação da Pegada Hídrica, todos os parceiros da WFN foram convidados a enviar suas considerações sobre esta edição. Além disto, dois grupos de trabalho foram criados, compostos por indivíduos pertencentes às instituições parceiras da WFN e especialistas convidados. Um dos grupos de trabalho avaliou a questão da pegada hídrica cinza (Zarate, 2010a) e o outro grupo estudou questões relativas à avaliação da sustentabilidade da pegada hídrica (Zarate, 2010b). Adicionalmente, vários parceiros iniciaram projetos pilotos em colaboração com a WFN que buscavam avaliar as implicações práticas de usar a pegada hídrica na formulação da estratégia corporativa de água ou uma política de água para um contexto geográfico específico. Com base nos retornos recebidos – novas publicações científicas, experiências de projetos pilotos de aplicação prática da pegada hídrica e relatórios de grupos de trabalhos – a WFN preparou uma versão preliminar desta segunda edição. O Comitê de Revisão Científica da WFN revisou a versão preliminar desta segunda edição e fez recomendações específicas com respeito às revisões. A segunda edição aqui apresentada é o resultado da incorporação das recomendações.

Esta segunda edição também irá requerer revisão no devido tempo. Ao redor do mundo a pesquisa nesta área está se desenvolvendo rapidamente e mais estudos piloto na avaliação da pegada hídrica são iniciados, em todos os setores da economia

e cobrindo todos os continentes. Para aprender a partir dos vários projetos piloto práticos de pegada hídrica que estão sendo implementados e das esperadas novas publicações científicas, a WFN convida a todos, parceiros ou não, a enviar suas considerações sobre esta segunda edição do manual. Desta forma, esperamos fazer o melhor uso das diversas experiências que indivíduos e organizações têm quando estão avaliando suas pegadas hídricas dentro de diferentes contextos e para diferentes propósitos. Nós almejamos refinar ainda mais a metodologia da pegada hídrica de modo que ela seja mais útil aos vários propósitos para os quais os diferentes setores da sociedade necessitam dela, ao mesmo tempo em que enfatizamos a coerência, consistência e o escrutínio científico.

Joop de Schutter
Presidente do Conselho Supervisor
da Rede da Pegada Hídrica

Siglas

Inglês	**Português**	
CBD	**CDB**	Convenção sobre Diversidade Biológica
CWR	**DHC**	Demanda Hídrica da Cultura
	EPA	Agência de Proteção Ambiental
	FAO	Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação
GHG	**GEE**	Gases de Efeito Estufa
	GIEWS	Sistema Global de Informação e Alerta Antecipado
GIS	**SIG**	Sistema de Informação Geográfica
	GMIA	Mapa Global de Áreas Irrigadas
	IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
IRBM	**GIBH**	Gestão Integrada de Bacias Hidrográficas
IWRM	**GIRH**	Gestão Integrada dos Recursos Hídricos
LCA	**ACV**	Avaliação do Ciclo de Vida
MFA	**AFM**	Análise de Fluxo de Material
MPA	**MAP**	Máxima Adição Permitida
MPC	**CMP**	Concentração Máxima Permitida
TMDL	**CMTD**	Carga Máxima Total Diária
	UNCTAD	Conferência das Nações Unidas sobre Comércio e Desenvolvimento
UNDP	**PNUD**	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
UNEP	**PNUMA**	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
WCED	**CMMAD**	Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento
	WFN	Rede da Pegada Hídrica

Capítulo 1

Introdução

1.1 Antecedentes

As atividades humanas consomem e poluem uma grande quantidade de água. Em uma escala global, a maior parte do uso da água ocorre na produção agrícola, mas há também volumes substanciais de água consumida e poluída pelos setores industriais e domésticos (WWAP, 2009). O consumo e a poluição da água podem estar associados a atividades específicas como irrigação, higiene pessoal, limpeza, refrigeração e processamento. O total de consumo e poluição da água é geralmente considerado como a soma de uma multiplicidade de demandas de água e de atividades poluentes independentes. Tem-se prestado pouca atenção ao fato de que, no final, o total de consumo de água e geração de poluição está relacionado com o que e quanto certas comunidades consomem e à estrutura da economia global que fornece os diversos bens de consumo e serviços. Até o passado recente, havia poucas abordagens na ciência e na prática de gestão de recursos hídricos sobre consumo e poluição da água ao longo de toda a cadeia de produção e abastecimento. Como resultado, há pouca conscientização sobre o fato de que a organização e as características de uma produção e sua cadeia de abastecimento influenciam fortemente os volumes (e as distribuições temporal e espacial) de consumo e poluição da água, que podem ser associados com um produto final de consumo. Hoekstra e Chapagain (2008) mostraram que visualizar o uso oculto da água em produtos pode ajudar no entendimento do caráter global da água doce e na quantificação dos efeitos do consumo e do comércio na utilização dos recursos hídricos. O aperfeiçoamento desta compreensão pode constituir a base para um melhor gerenciamento dos recursos hídricos do planeta.

A água doce tem se tornado cada vez mais um recurso global, comandado pelo crescimento do comércio internacional de mercadorias de alto consumo de água. Além dos mercados regionais, há também mercados globais para bens que consomem muita água, tais como produtos agrícolas e pecuários, fibras naturais e bioenergia. Como resultado, o uso dos recursos hídricos tornou-se espacialmente desconectado dos consumidores. Esta desconexão pode ser ilustrada pelo caso do algodão. Do campo até o produto final, o algodão passa por diferentes estágios de produção com diferentes impactos sobre os recursos hídricos. Estes estágios de produção são muitas vezes localizados em distintos lugares e o consumo final, por sua vez, pode estar em outra parte. A Malásia, por exemplo, não cultiva algodão, mas o importa cru da China, Índia e Paquistão para processamento

em sua indústria têxtil e exporta roupas de algodão para o mercado Europeu (Chapagain et al, 2006b). Como resultado, os impactos do consumo de um produto final de algodão sobre os recursos hídricos do planeta só podem ser encontrados olhando para a cadeia de abastecimento e rastreando as origens do produto. A revelação da ligação oculta entre o consumo e o uso da água pode formar a base para a formulação de novas estratégias de gestão de recursos hídricos, já que novos desencadeadores de mudança podem ser identificados. Se anteriormente os consumidores finais, varejistas, indústrias alimentícias e comerciantes de produtos com alto consumo de água estavam fora da esfera da boa governança hídrica, esses atores entram em cena agora como potenciais "agentes de mudança". Eles agora podem ser reconhecidos não apenas como usuários *diretos* da água, mas também como usuários *indiretos*.

1.2 O conceito de pegada hídrica

A idéia de considerar o uso da água ao longo das cadeias produtivas ganhou interesse após a introdução do conceito de 'pegada hídrica' por Hoekstra, em 2002 (Hoekstra, 2003). A pegada hídrica é um indicador do uso da água que considera não apenas o seu uso direto por um consumidor ou produtor, mas, também, seu uso indireto. A pegada hídrica pode ser considerada como um indicador abrangente da apropriação de recursos hídricos, vis a vis ao conceito tradicional e restrito de captação de água. A pegada hídrica de um produto é o volume de água utilizado para produzi-lo, medida ao longo de toda cadeia produtiva. É um indicador multidimensional, que mostra os volumes de consumo de água por fonte e os volumes de poluição pelo tipo de poluição; todas as componentes de uma pegada hídrica total são especificadas geográfica e temporalmente. A pegada hídrica azul de um produto refere-se ao consumo de água azul (superficial e subterrânea) ao longo de sua cadeia produtiva. 'Consumo' refere-se à perda de água (superficial ou subterrânea) disponível em uma bacia hidrográfica. A perda ocorre quando a água evapora, retorna a outra bacia ou ao mar ou é incorporada em um produto. A pegada hídrica verde refere-se ao consumo de água verde (água de chuva, desde que não escoe). A pegada hídrica cinza refere-se à poluição e é definida como o volume de água doce necessário para assimilar a carga de poluentes, a partir de concentrações naturais e de padrões de qualidade da água existentes.

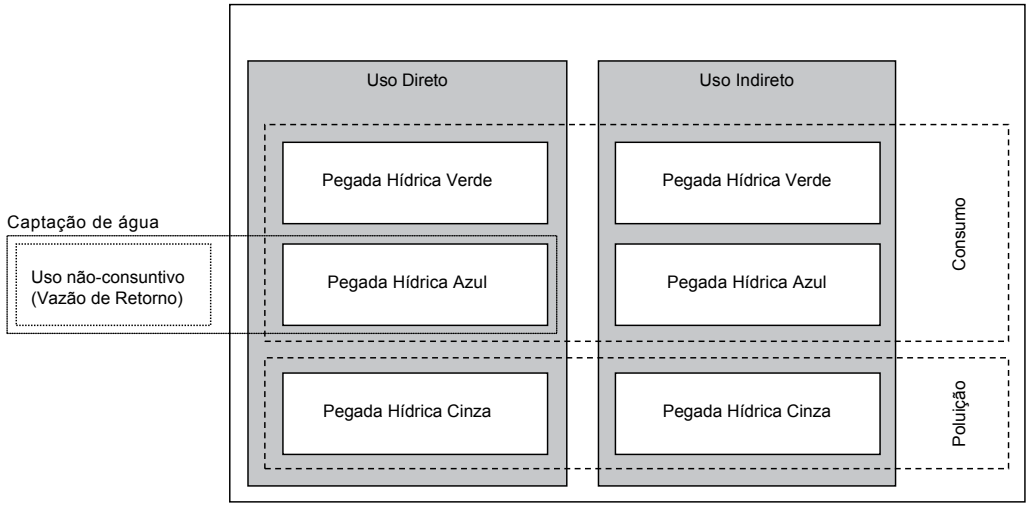


Figura 1.1 Representação esquemática dos componentes de uma pegada hídrica. Mostra que o uso não-consuntivo da água captada (a vazão de retorno) não faz parte da pegada hídrica. Também mostra que, ao contrário da medida da 'captação de água', a 'pegada hídrica' inclui as águas verde e cinza e o componente do uso indireto da água

Como um indicador do 'uso de água', a pegada hídrica difere da medida clássica de 'captação de água' em três aspectos (Figura 1.1):

1. Não inclui o uso da água azul, quando essa água é devolvida para onde veio.
2. Não está restrito ao uso da água azul, mas inclui também a água verde e cinza.
3. Não é restrito ao uso direto da água, mas inclui também seu uso indireto.

A pegada hídrica, portanto, oferece uma perspectiva mais adequada e mais ampla sobre a forma como um consumidor ou produtor se relaciona com o uso dos sistemas de água doce. Ela é uma medida volumétrica de consumo e poluição da água. E ela *não* é uma medida da severidade do impacto ambiental local do consumo e poluição da água. O impacto ambiental local de certa quantidade de consumo e poluição da água depende da vulnerabilidade do sistema hídrico local e do número de consumidores e poluidores que fazem uso do mesmo sistema. A contabilização da pegada hídrica fornece informações espacial e temporalmente específicas sobre como a água é apropriada para os vários propósitos humanos. Elas podem alimentar a discussão sobre o uso e a alocação equitativos e sustentáveis da água, além de formar uma boa base para a avaliação dos impactos ambientais, sociais e econômicos.

1.3 Avaliação da pegada hídrica

A 'avaliação da pegada hídrica' refere-se a um amplo escopo de atividades, visando: (i) quantificar e localizar a pegada hídrica de um processo, produto, produtor ou

consumidor ou quantificar no espaço e no tempo a pegada hídrica em uma determinada área geográfica; (ii) avaliar a sustentabilidade ambiental, social e econômica dessa pegada hídrica; e (iii) formular estratégias de resposta. Em termos gerais, o objetivo de quantificar as pegadas hídricas é analisar como atividades humanas ou produtos específicos se relacionam com questões de escassez e poluição da água e verificar como atividades e produtos podem se tornar mais sustentáveis sob o ponto de vista hídrico.

A forma como uma avaliação de pegada hídrica será vista depende muito do foco de interesse. Alguns podem estar interessados na pegada hídrica de um passo especifico de um processo em uma cadeia de produção ou na pegada hídrica de um produto final. Alternativamente, outros podem estar interessados na pegada hídrica de um consumidor, de um grupo de consumidores, de um produtor ou de todo um setor econômico. Finalmente, pode-se tomar uma perspective geográfica, olhando para a pegada hídrica total dentro de uma área delimitada, como um município, um país ou uma bacia hidrográfica. Essa pegada hídrica total é a agregação das pegadas hídricas de muitos processos distintos que ocorrem na área.

A avaliação da pegada hídrica é uma ferramenta analítica que pode auxiliar na compreensão sobre como atividades e produtos interagem com a escassez e a poluição da água e seus impactos relacionados e o que pode ser feito para assegurar que atividades e produtos não contribuam para o uso não sustentável dos recursos hídricos. Como ferramenta, a estimativa da pegada hídrica fornece uma visão adicional, mas não diz às pessoas 'o que fazer'. Ao invés disso, ela ajuda as pessoas a entenderem o que pode ser feito.

Uma avaliação completa de pegada hídrica consiste de quatro fases distintas (Figura 1.2):

1. Definição de objetivos e escopo.
2. Contabilização da pegada hídrica.
3. Avaliação da sustentabilidade da pegada hídrica.
4. Formulação de respostas à pegada hídrica.

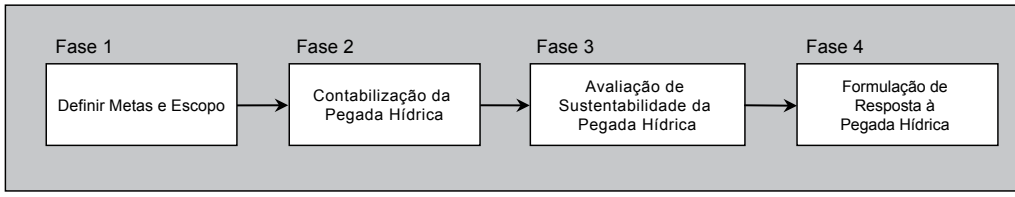


Figura 1.2 Quatro fases distintas na avaliação da pegada hídrica

Para maior transparência nas escolhas feitas em um estudo de avaliação da pegada hídrica, deve-se começar pela definição clara de objetivos e escopo do estudo. Um estudo da pegada hídrica pode ser realizado por várias razões diferentes. Por exemplo, um governo nacional pode estar interessado em saber sua dependência com relação aos

recursos hídricos estrangeiros ou pode estar interessado em conhecer a sustentabilidade do uso de água nas áreas de onde provêm produtos importados que consomem muita água. Um comitê de bacia hidrográfica pode estar interessado em saber se as pegadas hídricas agregadas das atividades humanas na bacia violam as demandas de vazões ambientais ou os padrões de qualidade de água em algum momento. Ele pode também querer saber até que ponto os escassos recursos hídricos da bacia estão alocados para as culturas de exportação de baixo valor. Uma empresa pode estar interessada em saber sua dependência em recursos hídricos escassos em sua cadeia produtiva ou como ela pode contribuir para diminuir os impactos nos sistemas hídricos ao longo desta cadeia produtiva ou, ainda, em suas próprias operações.

A fase da contabilização da pegada hídrica é a fase em que os dados são coletados e as quantificações são desenvolvidas. O escopo e o nível de detalhe na contabilização dependem das decisões feitas na fase anterior, de definição de objetivos. Após a fase de contabilização vem a fase de avaliação da sustentabilidade, na qual a pegada hídrica é avaliada de uma perspectiva ambiental, social e econômica. Na fase final, são formuladas opções de respostas, estratégias ou políticas. Não é necessário incluir todos os passos em um estudo. Na primeira fase, de definição de objetivos e escopo, pode-se concentrar somente na contabilização ou parar após a fase de avaliação da sustentabilidade, deixando a discussão sobre respostas para estudos posteriores. Além disso, este modelo de quatro fases subsequentes é, na prática, mais uma orientação do que uma diretiva estrita. O retorno a fases anteriores e a iteração entre as fases pode muitas vezes ser necessário. Inicialmente, uma empresa pode estar interessada em uma análise preliminar com todas as fases a fim de identificar componentes críticos em sua pegada hídrica e definir prioridades para respostas. Mais tarde ela poderá buscar um maior detalhamento em determinadas áreas da contabilização e da avaliação de sustentabilidade da pegada hídrica.

1.4 Guia para o leitor

As quatro fases de avaliação da pegada hídrica são abordadas nos capítulos seguintes. O Capítulo 2 apresenta as questões importantes que devem ser consideradas na definição de objetivos e do escopo na avaliação da pegada hídrica. O Capítulo 3 contém as definições e os métodos para a fase de contabilização da pegada hídrica. O Capítulo 4 fornece diretrizes para a avaliação da sustentabilidade da pegada hídrica. O Capítulo 5 fornece uma visão geral das opções de respostas a serem consideradas no estágio de formulação de políticas. O Capítulo 6 apresenta o método de avaliação da pegada hídrica num contexto mais amplo e discute suas limitações. O Capítulo 7 identifica e discute os principais desafios a serem abordados no futuro. Finalmente, o Capítulo 8 é a conclusão. Dependendo do interesse do leitor pode-se focar em diferentes partes do manual. Particularmente no capítulo 3, sobre contabilização da pegada hídrica, o leitor pode ser seletivo dependendo de adotar a perspectiva de um consumidor (Seção 3.5), de governo nacional (Seção 3.7), de autoridade de bacia

(Seção 3.8) ou de negócios (Seção 3.10). O leitor notará que a base da contabilização da pegada hídrica – contabilização do processo e do produto (Seções 3.3 e 3.4) – é relevante para todas as aplicações da pegada hídrica.

No decorrer do texto vários conceitos serão definidos. Para facilitar a consulta do leitor às definições dos principais termos utilizados neste manual um glossário foi incluído na parte final do livro. Outra seção útil é o Anexo VI que apresenta as perguntas mais frequentes no contexto da avaliação da pegada hídrica.

Capítulo 2

Objetivos e Escopos da Avaliação da Pegada Hídrica

2.1 Objetivos da avaliação da pegada hídrica

Os estudos de pegada hídrica podem ter vários propósitos e podem ser aplicados em diferentes contextos. Cada um deles requer uma análise específica e permitirá alternativas diferentes em relação às suposições usadas. Pode-se avaliar a pegada hídrica de diferentes entidades, por isso, é mais importante começar especificando qual a pegada hídrica de interesse. Pode-se estar interessado, por exemplo, na:

- pegada hídrica de uma etapa do processo
- pegada hídrica de um produto
- pegada hídrica de um consumidor
- pegada hídrica de um grupo de consumidores
  - pegada hídrica de consumidores em um país
  - pegada hídrica de consumidores em um município, província ou outra unidade administrativa
  - pegada hídrica de consumidores em uma bacia hidrográfica
- pegada hídrica dentro de uma área delimitada geograficamente
  - pegada hídrica dentro de um país
  - pegada hídrica dentro de um município, província ou outra unidade administrativa
  - pegada hídrica dentro de uma bacia hidrográfica
- pegada hídrica de um negócio
- pegada hídrica de um setor de negócios
- pegada hídrica da humanidade como um todo

Uma lista de atividades para definir o objetivo da avaliação da pegada hídrica é mostrada no Quadro 2.1. A lista não é exaustiva, mas mostra uma quantidade de itens a serem especificados. Provavelmente, a questão mais importante é o tipo de detalhe que se busca. Se o propósito é a conscientização, estimativas de médias nacionais ou globais em relação às pegadas hídricas dos produtos provavelmente serão suficientes. Quando o objetivo é a identificação de pontos críticos, será necessário incluir maiores detalhes no escopo e na

subsequente avaliação e contabilização, de modo que seja possível localizar exatamente onde e quando a pegada hídrica tem os maiores impactos ambientais, sociais ou econômicos locais. Se o objetivo é formular políticas e estabelecer metas de redução quantitativa da pegada hídrica, um grau ainda maior de detalhe espacial e temporal é necessário. Além disso, será necessário inserir a avaliação da pegada hídrica em uma avaliação mais ampla incorporando outros fatores que não só a água (veja também, Capítulo 6).

Quadro 2.1 *Objetivos da avaliação da pegada hídrica*

Geral

- Qual é a meta final? Conscientização, identificação de ponto crítico, formulação de políticas ou definição de metas quantitativas?
- Há um foco em uma fase específica? Focar na contabilização, na avaliação de sustentabilidade ou na formulação de respostas?
- Qual é o escopo de interesse? Pegada hídrica direta e/ou indireta? Pegada hídrica verde, azul e/ou cinza?
- Qual a escala temporal? Visa a avaliação de um determinado ano, a média de alguns anos ou a análise de tendências?

Avaliação da pegada hídrica do processo

- Qual processo considerar? Um processo específico ou um alternativo (a fim de comparar a pegada hídrica de técnicas alternativas)?
- Em qual escala? Um processo específico em uma localização específica ou o mesmo processo em diferentes localizações?

Avaliação da pegada hídrica do produto

- Que produto considerar? Uma unidade em estoque de uma marca em particular, um tipo particular de produto ou toda uma categoria de produtos?
- Em qual escala? Incluir produto(s) de um setor ou fábrica, uma ou mais empresas ou uma ou mais regiões de produção?

Avaliação da pegada hídrica do consumidor ou da comunidade

- Qual comunidade? Um consumidor em particular ou consumidores dentro de um município, província ou estado?

Avaliação da pegada hídrica dentro de uma área delimitada geograficamente

- Quais são os limites da área? Uma bacia hidrográfica, um município, uma província, um estado ou país?
- Qual é o campo de interesse? Examinar como a pegada hídrica dentro da área é reduzida pela importação da água virtual e como a pegada hídrica dentro da área aumenta pela manufatura de produtos para exportação; analisar como os recursos hídricos das áreas são alocados para vários propósitos, e/ou examinar onde a pegada hídrica dentro da área viola as demandas locais de vazão ambiental e de padrões ambientais de qualidade da água?

Avaliação nacional da pegada hídrica (pegada hídrica dentro de um país e pegada hídrica do consumo nacional)

- Qual é o escopo de interesse? Avaliar a pegada hídrica dentro de um país e/ou a pegada hídrica do consumo nacional? Analisar a pegada hídrica interna e/ou externa do consumo nacional?
- Qual é o campo de interesse? Avaliar a escassez nacional da água, a sustentabilidade da produção nacional, a exportação dos recursos hídricos escassos de forma virtual, a economia nacional da água através da importação de água na forma virtual, a sustentabilidade do consumo nacional, os impactos da pegada hídrica do consumo nacional em outros países e/ou dependência de recursos hídricos estrangeiros?

Avaliação da pegada hídrica de empresas

- Qual é a escala do estudo? Uma unidade da companhia, a companhia inteira ou todo um setor? (Quando a escala de interesse for a nível de produto, ver o tópico de avaliação da pegada hídrica do produto.)
- Qual é o escopo de interesse? Avaliar a pegada hídrica operacional e/ou da cadeia produtiva?
- Qual é o campo de interesse? Risco do negócio, transparência do produto, relatórios ambientais corporativos, rotulagem dos produtos, *benchmarking*, certificação de empresas, identificação de componentes críticos da pegada hídrica, formulação de metas quantitativas de sua redução?

2.2 Escopo da contabilização da pegada hídrica

No planejamento da contabilização de uma pegada hídrica devemos ser claros e explícitos em relação aos 'limites de inventário'. Estes referem-se a 'o que incluir' e 'o que excluir' da contabilidade e devem ser escolhidos de acordo com o propósito da contabilização. A seguinte lista de verificação poderá ser utilizada no planejamento da contabilização da pegada hídrica:

- Considerar a pegada hídrica azul, verde e/ou cinza?
- Onde truncar a análise retroativa ao longo da cadeia produtiva?
- Qual nível de resolução espaço-temporal?
- Que período de dados?
- Para consumidores e empresas: considerar a pegada hídrica direta e/ou indireta?
- Para países: considerar a pegada hídrica dentro do país e/ou a pegada hídrica do consumo nacional; considerar a pegada hídrica interna e/ou externa do consumo nacional?

Pegada hídrica azul, verde e/ou cinza?

Os recursos da água azul são geralmente mais escassos e têm custos de oportunidades mais elevados do que a água verde, portanto pode haver um motivo para se focar somente na contabilização da pegada hídrica azul. No entanto, os recursos da água

verde também são limitados e escassos, o que reforça a necessidade da contabilização da pegada hídrica verde. Além disso, a água verde pode ser substituída pela água azul – e na agricultura também ocorre o inverso – de modo que um quadro completo só pode ser obtido pela contabilização de ambas. O argumento para a inclusão do uso da água verde é que a tradição da engenharia em focar a água azul levou à subestimação da água verde como um importante fator de produção (Falkenmark, 2003; Rockström, 2001). A ideia da pegada hídrica cinza foi introduzida a fim de expressar a poluição da água em termos de volume poluído, podendo ser comparada com o consumo de água, que também é expresso como um volume (Chapagain et al, 2006b; Hoekstra e Chapagain, 2008). Se houver interesse na poluição da água e na comparação dos impactos relativos a ela e ao consumo dos recursos hídricos disponíveis, é importante contabilizar a pegada hídrica cinza em adição à azul.

Onde truncar a análise retroativa ao longo da cadeia produtiva?

O problema de truncamento é uma questão básica na contabilização da pegada hídrica. Enfrentamos questões semelhantes na contabilização das pegadas de carbono ecológica, análise energética e avaliação do ciclo de vida dos produtos. Nenhuma orientação definitiva foi desenvolvida ainda no campo da contabilização da pegada hídrica, mas a regra geral é: incluir a pegada hídrica de todos os processos dentro de um sistema de produção (árvore de produção) que contribuam 'significativamente' para a pegada hídrica total. A questão persiste no que seria 'significativo'. Pode-se dizer, por exemplo, que significativo seria 'maior que 1%' (ou 'maior que 10%', quando o interesse está somente no maior componente). Se rastrearmos as origens de um produto específico, veremos que a cadeia produtiva é interminável e amplamente divergente devido à variedade de insumos usados em cada etapa do processo. Na prática, entretanto, existem apenas algumas etapas do processo que contribuem substancialmente para a pegada hídrica total do produto final. Como regra geral, pode-se esperar que, quando um produto inclui ingredientes que vieram da agricultura, esses ingredientes frequentemente fornecem uma contribuição maior para a pegada hídrica total do produto. Isto ocorre porque aproximadamente 86% da pegada hídrica da humanidade está no setor agrícola (Hoekstra e Chapagain, 2008). Os ingredientes industriais são, provavelmente, os que contribuem particularmente quando podem ser associados com a poluição da água (contribuindo, portanto, para a pegada hídrica cinza).

Uma questão específica que reside no problema do truncamento é saber se deveria ocorrer contabilização da pegada hídrica do trabalho, que é um fator de entrada em quase todos os processos. O argumento poderia ser que os empregados são um fator de entrada que necessita de comida, roupas e água potável, portanto todas as necessidades diretas e indiretas de água dos empregados deveriam ser incluídas na pegada hídrica indireta de um produto. Entretanto, isso cria um problema de contabilização muito sério, bem conhecido no campo da avaliação do ciclo de vida: a dupla contabilização. A ideia subjacente na contabilização dos recursos naturais dos produtos é alocar todo o seu uso para os produtos do consumidor final, com base nos dados de consumo dos consumidores. Todo uso de recurso natural, portanto, é atribuído em última instância aos consumidores. Entretanto, consumidores também são trabalhadores. Assim, um ciclo interminável de dupla ou

tripla contabilização seria criado sempre que o uso do recurso natural atribuído a um consumidor fosse contabilizado como o uso do recurso natural subjacente ao fator de entrada do trabalho na produção. Em resumo, é uma prática comum excluir o trabalho como um fator indireto de uso do recurso.

Outra questão específica frequentemente colocada – particularmente por analistas que têm experiências com contabilização de pegada de carbono – é se a pegada hídrica do transporte deveria ser incluída. O transporte consome muita energia, uma quantia que pode constituir um componente significativo de toda a energia global usada para elaborar um produto e levá-lo ao seu destino final. Em muitos casos, o transporte não consome uma quantia significativa de água doce se comparado ao total de água doce consumida para a confecção de um produto. Ela depende do tipo de produto e do tipo de energia aplicada. Em geral, a inclusão da pegada hídrica do transporte na análise dependerá da regra de como truncá-la. Quando se espera que o transporte tenha uma contribuição menor para a pegada hídrica total de um produto o componente pode ser deixado de fora da análise. Nós, particularmente, recomendamos incluir a pegada hídrica do transporte quando são usados biocombustíveis ou hidroeletricidade como fonte de energia, porque essas fontes apresentam uma pegada hídrica relativamente grande por unidade de energia. De forma mais ampla, pode-se perguntar se a pegada hídrica da energia aplicada em um sistema de produção deve ser incluída na avaliação da pegada hídrica do produto final. Novamente, na maioria dos casos a contribuição do fator de energia terá uma porcentagem menor da pegada hídrica total de um produto. Uma exceção pode ser a energia fornecida por biocombustíveis, pela combustão de biomassa ou hidroeletricidade, pois essas formas de energia têm uma pegada hídrica relativamente grande por unidade de energia (Gerbens-Leenes et al, 2009a, b; Yang et al, 2009; Dominguez-Faus et al, 2009).

Qual o nível de resolução espaço-temporal?

Pegadas hídricas podem ser avaliadas em diferentes níveis de resolução espaço-temporal (Tabela 2.1). No nível A, o nível mais baixo de detalhe, a pegada hídrica é avaliada com base nos dados da pegada hídrica média global a partir de um banco de dados disponível. O dado refere-se às médias de vários anos. Este nível de detalhe é suficiente e adequado para fins de sensibilização. O mesmo pode ser útil quando o objetivo é identificar produtos e ingredientes que contribuem de forma mais significativa para a pegada hídrica total. Dados de pegada hídrica média global também podem ser usados para o desenvolvimento de projeções preliminares do consumo global de água no futuro, devido a mudanças nos padrões de consumo (tais como mudança para maior consumo de carne ou uso de bioenergia). No nível B, a pegada hídrica é avaliada com base na média nacional ou regional ou em dados de pegada hídrica de bacias hidrográficas específicas, obtidos de um banco de dados geográfico disponível. Apesar de as pegadas hídricas serem, preferencialmente, especificadas por mês, esse nível de análise utiliza dados mensais médios de vários anos. Este nível de contabilização é adequado para fornecer uma base para identificar onde áreas críticas em bacias hidrográficas locais podem ser esperadas e na tomada de decisões relativas à alocação da água. No nível C, as contabilizações de pegada hídrica são geográfica e temporalmente explícitas, baseadas

em dados precisos sobre os insumos usados e as fontes de informação detalhadas desses insumos. A resolução espacial mínima é o nível de pequenas bacias (~100–1000 km^2), mas se desejado, e quando os dados permitirem, pode-se contabilizar no nível de gleba. Neste último caso, estamos falando sobre contabilizações que mapeiam a pegada hídrica por fazenda, bairro ou indústria. A resolução mínima temporal é um mês e análises de variações interanuais farão parte da avaliação. A contabilização é baseada nas melhores estimativas reais do consumo e poluição locais de água, preferencialmente verificadas *in loco*. Este alto nível de detalhe espaço-temporal é adequado para a formulação de estratégias locais específicas de redução da pegada hídrica.

Tabela 2.1 *Explicação espaço-temporal na contabilização da pegada hídrica*

	Resolução espacial	***Resolução temporal***	***Fonte de dados necessários sobre uso da água***	***Uso típico das contabilizações***
Nível A	Média global	Anual	Literatura e banco de dados disponíveis sobre o consumo e poluição de água típicos, por produto ou processo.	Ações de conscientização, identificação preliminar dos componentes que mais contribuem para a pegada hídrica total; desenvolvimento de projeções globais do consumo da água.
Nível B	Nacional, regional ou de bacia	Anual ou mensal	Como no caso acima, mas o uso de dados específicos nacionais, regionais ou de bacias.	Identificação preliminar da dispersão e variabilidade espaciais; base de conhecimento para identificação de áreas críticas e decisões sobre alocação de água.
Nível C	Pequena bacia ou gleba	Mensal ou diária	Dados empíricos ou (se não forem diretamente mensuráveis) melhores estimativas do consumo e poluição da água, especificados por local e durante o ano.	Base de conhecimento para a realização de uma avaliação de sustentabilidade de uma pegada hídrica; formulação de uma estratégia para reduzir a pegada hídrica e os impactos locais associados.

Observação: Os três níveis podem ser distinguidos para todas as formas de contabilização de pegada hídrica (por exemplo, contabilização de produto, nacional, corporativa).

Qual o período de dados?

A disponibilidade de água varia ao longo de um ano e entre anos diferentes. Além da disponibilidade variável da água, a demanda de água também varia no tempo. Deve-se, portanto, usar cautela na avaliação da tendência de uma pegada hídrica ao longo do tempo. Em qualquer estudo sobre pegada hídrica, deve-se explicitar o período de dados utilizado, pois o período escolhido irá influenciar o resultado. Em anos secos, a pegada hídrica azul de um produto agrícola será muito mais alta do que em anos úmidos, pois mais irrigação será necessária. Pode-se escolher calcular as pegadas hídricas de um ano

em particular ou um número específico de anos, mas alternativamente pode-se escolher calcular a pegada hídrica em um ano médio, considerando o clima existente (definido como a média ao longo de um período consecutivo de 30 anos). Neste caso, pode-se combinar diferentes períodos em uma só análise: tome-se, por exemplo, dados de produção e produtividade para um período recente de cinco anos, mas dados médios de clima (temperatura e precipitação) nos últimos 30 anos.

Pegada hídrica direta e/ou indireta?

A recomendação geral é incluir as pegadas hídricas direta e indireta. Apesar de as pegadas hídricas diretas serem os focos tradicionais dos consumidores e companhias, a pegada hídrica indireta é geralmente muito maior. Ao abordar somente a pegada hídrica direta, os consumidores negligenciariam o fato de que a maior parte de suas pegadas hídricas está associada aos produtos que eles compram em supermercados ou em outros lugares e não à água que eles consomem em casa. Para a maior parte das empresas a pegada hídrica em sua cadeia produtiva é muito maior do que a pegada hídrica de suas próprias operações. Assim, ignorar este componente pode levar a investimentos em melhorias no uso operacional da água da empresa, enquanto investimentos em aperfeiçoamentos na cadeia poderiam ser mais custo-efetivas. Dependendo do propósito de um estudo específico, entretanto, pode-se decidir incluir somente a pegada hídrica direta ou indireta na análise. Há alguma similaridade aqui com os 'Escopos', como no caso da contabilização da pegada de carbono (veja Quadro 2.2).

Quadro 2.2 *Há 'escopos' no cálculo da pegada hídrica como ocorre no caso do cálculo da pegada corporativa de carbono?*

A pegada de carbono é o conjunto total das emissões dos gases de efeito estufa (GEE) gerados, direta e indiretamente, por um indivíduo, organização, evento ou produto. No campo da contabilização corporativa da pegada de carbono, três 'escopos' foram definidos (WRI e WBCSD, 2004). O Escopo 1 refere-se à contabilização das emissões "diretas" de GEE, que provêm de fontes que pertencem ou são controladas pelas empresas. Os exemplos são: emissões das combustões em caldeiras, fornos, veículos, etc., emissões da produção química em equipamentos de processamento próprios ou por elas controlados. O escopo 2 refere-se a contabilização das emissões "indiretas" de GEE, pela geração da energia elétrica adquirida e consumida pela empresa. O Escopo 3 refere-se a outras emissões indiretas de GEE, que são consequências das atividades da empresa, mas ocorrem de fontes não pertencentes ou não controladas por ela. Exemplos das atividades do escopo 3 são: extração e produção de materiais comprados; transporte de combustíveis comprados; e o uso de produtos e serviços de vendas. A diferença entre 'direto' e 'indireto' também é feita no caso da contabilização da pegada hídrica. A pegada hídrica total de um consumidor ou produtor refere-se, por definição, aos usos diretos e indiretos da água deste consumidor ou produtor. Isto significa que, se não especificado, o termo pegada hídrica refere-se à soma das pegadas direta e indireta.

A diferença entre os Escopos 2 e 3, como aplicados na contabilização da pegada de carbono, não é útil no caso da contabilização da pegada hídrica. Na contabilização da pegada hídrica há, portanto, somente dois "escopos": pegada hídrica 'direta' e 'indireta'.

Considerar a pegada hídrica dentro de um país ou a pegada hídrica do consumo nacional?

A pegada de carbono é o conjunto total das emissões dos gases de efeito estufa (GEE) gerados, direta e indiretamente, por um indivíduo, organização, evento ou produto. No campo da contabilização corporativa da pegada de carbono, três 'escopos' foram definidos (WRI e WBCSD, 2004). O Escopo 1 refere-se à contabilização das emissões "diretas" de GEE, que provêm de fontes que pertencem ou são controladas pelas empresas. Os exemplos são: emissões das combustões em caldeiras, fornos, veículos, etc., emissões da produção química em equipamentos de processamento próprios ou por elas controlados. O escopo 2 refere-se a contabilização das emissões "indiretas" de GEE, pela geração da energia elétrica adquirida e consumida pela empresa. O Escopo 3 refere-se a outras emissões indiretas de GEE, que são consequências das atividades da empresa, mas ocorrem de fontes não pertencentes ou não controladas por ela. Exemplos das atividades do escopo 3 são: extração e produção de materiais comprados; transporte de combustíveis comprados; e o uso de produtos e serviços de vendas. A diferença entre 'direto' e 'indireto' também é feita no caso da contabilização da pegada hídrica. A pegada hídrica total de um consumidor ou produtor refere-se, por definição, aos usos diretos e indiretos da água deste consumidor ou produtor. Isto significa que, se não especificado, o termo pegada hídrica refere-se à soma das pegadas direta e indireta. A diferença entre os Escopos 2 e 3, como aplicados na contabilização da pegada de carbono, não é útil no caso da contabilização da pegada hídrica. Na contabilização da pegada hídrica há, portanto, somente dois "escopos": pegada hídrica 'direta' e 'indireta'.

2.3 Escopo da avaliação de sustentabilidade da pegada hídrica

Para a fase de avaliação de sustentabilidade da pegada hídrica, a questão primária é se será utilizada uma perspectiva geográfica ou a perspectiva de um processo, produto, consumidor ou produtor. No caso de uma perspectiva geográfica será considerada a sustentabilidade da pegada hídrica agregada numa certa área, preferencialmente uma área de drenagem ou toda uma bacia hidrográfica, pois esta é a unidade espacial natural que permite a comparação da pegada hídrica e disponibilidade de água, bem como da alocação dos recursos hídricos e os potenciais conflitos. No caso da perspectiva de um processo, produto, consumidor ou produtor, o foco não está na pegada hídrica *agregada* em uma área geográfica, mas na *contribuição* da pegada hídrica individual do processo, produto, consumidor ou produtor em relação ao panorama maior. A questão da contribuição contém dois elementos: (i) qual é a contribuição da pegada hídrica do processo, produto, consumidor ou produtor específico para a pegada hídrica

global da humanidade, e (ii) qual é a contribuição para as pegadas hídricas agregadas em áreas geográficas específicas? A contribuição para o total global é importante do ponto de vista da sustentabilidade, pois as fontes de água doce do mundo são limitadas; então, deveria haver uma preocupação com qualquer contribuição além da necessidade máxima razoável, de um ponto de vista técnico ou social. A contribuição para a pegada hídrica agregada em bacias hidrográficas específicas é interessante porque deve haver uma preocupação com qualquer contribuição que resulte em situações nas quais as necessidades básicas ambientais não são atingidas ou a alocação da água é social ou economicamente insustentável.

Desta forma, o escopo da avaliação da sustentabilidade de uma pegada hídrica depende primeiramente da perspectiva escolhida. Em todos os casos, o escopo precisa ser especificado de acordo com os objetivos da avaliação. No caso de uma perspectiva geográfica, pode-se usar a seguinte lista de verificação:

- Considerar a sustentabilidade da pegada hídrica verde, azul e/ou cinza?
- Considerar a dimensão de sustentabilidade ambiental, social e/ou econômica?
- Identificar somente pontos críticos ou analisar detalhadamente impactos primários e/ou secundários nestas áreas?

A resposta para o último ponto irá influenciar o nível necessário de detalhe na avaliação. A identificação de pontos críticos – em outras palavras, encontrar (sub)bacias onde a pegada hídrica seja insustentável durante períodos específicos do ano – pode ser feita pela comparação entre as pegadas hídricas verde e azul e as disponibilidades da água verde e azul e também pela comparação da pegada hídrica cinza com a capacidade de assimilação disponível, sem a necessidade de analisar em detalhe os impactos primários e secundários que possam ocorrer como resultado da escassez ou da poluição da água. Quanto mais detalhado o nível de resolução espacial e temporal usado na comparação entre pegadas hídricas e disponibilidade da água, maior a possibilidade de identificar os pontos críticos. Considerando valores anuais e as bacias hidrográficas como um todo, resulta em uma identificação crua destes pontos. Quando o objetivo ultrapassa a identificação de pontos críticos e inclui a busca por um melhor entendimento do que a pegada hídrica representa em uma área, deve-se descrever em detalhes como a pegada hídrica em uma bacia afeta as vazões e a qualidade da água na área (impactos primários), e, finalmente, em como isto impacta indicadores como bem-estar, igualdade social, saúde humana e biodiversidade.

Quando o interesse está na sustentabilidade da pegada hídrica de um processo, produto, consumidor ou produtor, o foco será avaliar (i) se a pegada hídrica contribui desnecessariamente para a pegada hídrica global da humanidade e (ii) se a pegada hídrica contribui para pontos críticos específicos. Para o primeiro caso, pode ser suficiente comparar separadamente a pegada hídrica do produto ou processo com um valor de referência global, caso a referência já exista. Na ausência de tais referências, o escopo da avaliação terá de ser estendido para identificar o que possa ser uma referência razoável. Para explorar se a pegada hídrica de um processo, produto, consumidor ou produtor contribui

para pontos críticos específicos, pode ser suficiente verificar cada componente da pegada hídrica e se ele está localizado em um ponto crítico ou não. Esta análise necessita de uma base de dados global de pontos críticos no nível de detalhe espacial e temporal demandado. Quando estes dados básicos não estão disponíveis, o escopo do estudo deve ser estendido a fim de incluir estudos da bacia de uma perspectiva geográfica e para todas as bacias onde os componentes (principais) da pegada hídrica do processo, produto, consumidor ou produtor estão localizados.

2.4 Escopo da formulação das respostas da pegada hídrica

O escopo da fase de formulação das respostas da pegada hídrica depende do tipo de pegada hídrica que está sendo avaliado. No caso da pegada hídrica dentro de uma área delimitada geograficamente, a questão é: o que pode ser feito (e por quem) para reduzir a pegada hídrica dentro daquela área, por quanto tempo e por qual caminho? Para definir o escopo para a formulação de respostas, devemos ser particularmente claros sobre 'quem será responsável pela resposta'. Pode-se imaginar o que os governos poderiam fazer – que é o que as pessoas provavelmente vão pensar primeiro, no caso pegada hídrica dentro de uma área geográfica – mas pode-se também buscar o que consumidores, produtores rurais, empresas e investidores poderiam fazer e o que deveria ser feito através da cooperação intergovernamental. E com relação ao governo, pode-se distinguir níveis diferentes de governo e diferentes órgãos governamentais em cada nível. Em âmbito nacional, por exemplo, a resposta necessária pode se traduzir em ações dentro de diferentes ministérios, desde ministérios da água, meio-ambiente, agricultura, energia e planejamento, até ministérios da economia, comércio e relações exteriores. Ao configurar o escopo para identificar as medidas de resposta, é importante ficarem claras, desde o início, as perspectivas que cada um irá usar na identificação dessas medidas.

No caso da pegada hídrica de um consumidor ou comunidade de consumidores, pode-se simplesmente olhar para o que os consumidores podem fazer, mas neste caso também devemos incluir uma análise sobre o que os outros – neste caso, empresas e governos – podem fazer. Ao considerar respostas no contexto de avaliação da pegada hídrica de uma empresa é mais lógico olhar para qual tipo de resposta a empresa pode desenvolver sozinha, mas também é possível incluir uma abrangência maior.

Capítulo 3

O Cálculo da Pegada Hídrica

3.1 A apropriação da água pelo homem: O que nós calculamos e por quê?

A água na Terra está em movimento constante. A água evapora dos solos e de superfícies líquidas como resultado da ação das energias solar e eólica. Somado a isso, as plantas retiram água do solo e a liberam na atmosfera, através dos estômatos de suas folhas, em um processo conhecido como transpiração. Os processos de evaporação e transpiração combinados são chamados de 'evapotranspiração' (embora na linguagem cotidiana, o termo evaporação também seja genericamente utilizado para se referir à transpiração). A quantidade de água na atmosfera aumenta através da evapotranspiração, mas diminui novamente através da precipitação. Na atmosfera o vapor da água se move em volta do globo de acordo com processos complexos; assim, a água que evapora em um determinado lugar não retorna necessariamente como precipitação para o mesmo lugar. A quantidade de água no solo aumenta em decorrência da precipitação, mas diminui como resultado da evapotranspiração. Quando a precipitação no solo excede a evapotranspiração (não em uma escala diária, mas no longo prazo), gera-se um excesso de água no solo, que leva ao escoamento. Este escoamento finalmente atinge o oceano. Enquanto a terra apresenta excesso de precipitação, os oceanos apresentam um excesso de evaporação. De modo geral, a água é transportada dos oceanos para o continente através da atmosfera. Esta água retorna para o oceano através do escoamento. O escoamento ocorre, em parte, pelo escoamento superficial (rios e córregos) e em parte pelo fluxo das águas subterrâneas. Assim, o volume de água na Terra permanece mais ou menos constante.

Para quase todos os propósitos precisamos da água doce na forma como ela é encontrada no continente. A água salgada do oceano não é útil para beber, lavar, cozinhar, irrigar ou para a maioria das aplicações na indústria. A água salgada pode ser dessalinizada, mas este é um processo caro e demanda muita energia, viável somente para um número limitado de aplicações. Além disso, a água salgada está disponível somente no litoral, enquanto a maior necessidade de água está no interior, ou seja, o transporte da água para montante se tornaria um problema. Em resumo, o homem depende principalmente da água doce como é encontrada nos continentes. Embora a água forme um ciclo e a água doce seja continuamente reabastecida nos continentes, a sua disponibilidade não é ilimitada. Anualmente, as pessoas precisam

de um determinado volume de água para usos domésticos, agrícolas e industriais que não pode exceder a taxa de reposição anual. Consequentemente, a questão principal é: qual é a quantidade de água doce disponível durante um determinado período e qual é a apropriação real dessa quantidade por parte do homem durante este período? O cálculo da pegada hídrica fornece os meios para responder a segunda metade dessa questão. A pegada hídrica expressa basicamente a apropriação humana da água doce, em termos volumétricos. Comparar a pegada hídrica humana com a disponibilidade efetiva de água doce é parte da avaliação de sustentabilidade da pegada hídrica, apresentada no Capítulo 4.

Para entender a apropriação da água doce pelo homem em relação ao ciclo hidrológico vamos considerar uma bacia hidrográfica. Uma bacia hidrográfica é toda uma área geográfica drenada por um rio e seus afluentes. Todo o escoamento de uma bacia converge para o mesmo exutório. Outros termos para 'bacia hidrográfica' frequentemente utilizados são 'área de captação', 'bacia de drenagem', 'área de drenagem' e 'área de contribuição'. A disponibilidade anual total de água em uma bacia é calculada com base no volume anual de precipitação. Quando ignoramos as possíveis variações - embora geralmente pequenas - no armazenamento da água em uma bacia, uma parte do volume anual precipitado deixará a bacia através da evapotranspiração e outra parte através do escoamento. Tanto o fluxo evaporativo como o escoamento podem ser apropriados pelo homem. A pegada hídrica verde se refere ao uso humano do fluxo que se evapora da superfície terrestre, resultado, em sua maior parte, do cultivo agrícola ou da produção florestal (Figura 3.1). A pegada hídrica azul se refere ao uso consuntivo do fluxo de escoamento; isto é, a captação do escoamento da bacia, na medida em que este fluxo não retorna à bacia na forma de vazão de retorno.

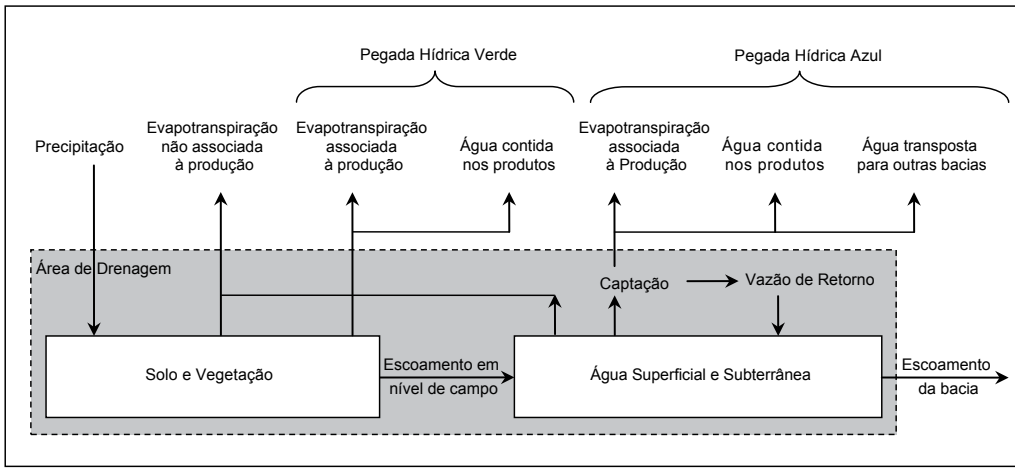


Figura 3.1 As pegadas hídricas azul e verde em relação ao balanço hídrico de uma bacia hidrográfica

Historicamente, as pessoas utilizam os fluxos hídricos como fonte de água doce e para drenar o lançamento de seus efluentes. Obviamente, há limites para usar estes fluxos como fonte ou depositório. O fluxo total de escoamento tem um limite de retirada e uma capacidade limitada para assimilar efluentes. A pegada hídrica azul mostra o volume que foi efetivamente retirado do fluxo total de escoamento, mostrando, assim, a 'apropriação da capacidade de retirada'. A pegada hídrica cinza mostra a 'apropriação da capacidade de assimilação de efluentes'. É definida como o volume de água necessário para assimilar os efluentes, quantificado como o volume de água necessário para diluir os poluentes de tal forma que a qualidade da água permaneça dentro dos padrões de qualidade da água estabelecidos. A vantagem de medir a poluição da água em termos de volumes de água apropriados é que as diferentes formas de poluição são colocadas em um denominador comum, isto é, o volume de água necessário para a assimilação de efluentes. Além disso, quando a poluição da água é expressa nos mesmos termos do consumo da água, torna-se possível comparar o uso do fluxo como fonte (a pegada hídrica azul) com o seu uso como depositório (a pegada hídrica cinza).

3.2. A coerência entre os diferentes tipos de cálculo da pegada hídrica

A pegada hídrica de uma simples 'etapa do processo' é a base de todos os cálculos de pegada hídrica (ver Figura 3.2 e Quadro 3.1). A pegada hídrica de um 'produto' intermediário ou final (bens ou serviços) é a agregação da pegada hídrica de vários passos relevantes do processo de elaboração do produto. A pegada hídrica individual de um consumidor é função das pegadas hídricas dos diversos produtos consumidos por ele. A pegada hídrica de uma comunidade de consumidores – por exemplo, os habitantes de um município, estado ou país – é igual à soma das pegadas hídricas individuais dos membros da comunidade. A pegada hídrica de um fabricante ou qualquer tipo de empresa é igual à soma das pegadas hídricas dos produtos que o fabricante ou a empresa comercializam. A pegada hídrica dentro de uma área delimitada geograficamente – podendo ser um estado, país ou uma bacia hidrográfica – é igual à soma das pegadas hídricas de todos os processos ocorridos naquela área. A pegada hídrica total da humanidade é igual à soma das pegadas hídricas de todos os consumidores do mundo, que é a soma das pegadas hídricas de todos os bens e serviços consumidos anualmente e também é igual à soma de todos os processos de consumo ou poluição de água no mundo.

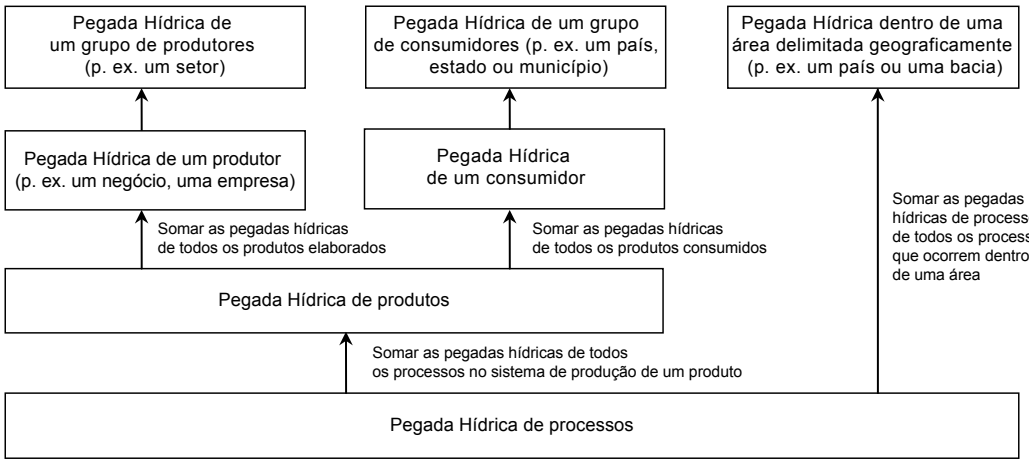

Pegada Hídrica de um grupo de produtores (p. ex. um setor)
Pegada Hídrica de um grupo de consumidores (p. ex. um país, estado ou município)
Pegada Hídrica dentro de uma área delimitada geograficamente (p. ex. um país ou uma bacia)
Pegada Hídrica de um produtor (p. ex. um negócio, uma empresa)
Pegada Hídrica de um consumidor
Somar as pegadas hídricas de todos os produtos elaborados
Somar as pegadas hídricas de todos os produtos consumidos
Somar as pegadas hídricas de process de todos os process que ocorrem dentro de uma área
Pegada Hídrica de produtos
Somar as pegadas hídricas de todos os processos no sistema de produção de um produto
Pegada Hídrica de processos

Figura 3.2 Pegadas hídricas de processo como a unidade básica para todas as outras pegadas hídricas

As pegadas hídricas de produtos finais (de consumo) podem ser somadas sem que haja dupla contabilidade. Isto se deve ao fato de que as pegadas hídricas dos processos são sempre e exclusivamente alocadas em um único produto final ou, quando um processo contribui para mais de um produto final, a pegada hídrica de um processo é dividida entre os diferentes produtos finais. Não faz sentido somar pegadas hídricas de produtos intermediários, pois a dupla contabilização pode ocorrer facilmente. Se somarmos, por exemplo, a pegada hídrica do tecido de algodão com a pegada hídrica do algodão em pluma (bruto), ocorrerá dupla contabilidade, pois o cálculo da primeira já inclui o da segunda. Do mesmo modo, é possível somar as pegadas hídricas individuais dos consumidores sem que ocorra a dupla contabilização; mas não se deve somar as pegadas hídricas de diferentes produtores, já que isso pode levar à dupla contabilização.

Quadro 3.1 *A relação entre os diferentes tipos de pegadas hídricas*

- A pegada hídrica de um produto = a soma das pegadas hídricas das etapas do processo ocorridas na elaboração do produto (considerando toda a cadeia produtiva e de suprimento).
- A pegada hídrica de um consumidor = a soma das pegadas hídricas de todos os produtos consumidos por ele.
- A pegada hídrica de uma comunidade = a soma das pegadas hídricas de seus membros.
- A pegada hídrica de consumo nacional = a soma das pegadas hídricas dos habitantes de um país.
- A pegada hídrica de uma empresa = a soma das pegadas hídricas dos produtos finais que a empresa produz.
- A pegada hídrica dentro de uma área delimitada geograficamente (por exemplo, um município, estado, país, bacia hidrográfica) = a soma das pegadas hídricas de todos os processos que ocorrem naquela área.

A pegada hídrica dos consumidores está relacionada às pegadas hídricas dos produtores na cadeia produtiva. A figura 3.3 mostra um exemplo simplificado da cadeia de um produto animal. A pegada hídrica total de um consumidor é a soma de suas pegadas hídricas diretas e indiretas. Quando consideramos o consumo da carne, por exemplo, a pegada hídrica direta de um consumidor se refere ao volume de água consumido ou poluído para preparar e cozinhar a carne. A pegada hídrica indireta do consumidor da carne depende das pegadas hídricas diretas do comerciante que vende a carne, do frigorífico que prepara a carne para a venda, da fazenda que cria o animal e do produtor da ração que alimenta o animal. A pegada hídrica indireta de um comerciante depende das pegadas hídricas diretas do frigorífico, das fazendas produtoras de gado e de ração e assim por diante.

A 'pegada hídrica dos consumidores em uma área' não é igual à 'pegada hídrica dentro dessa área', mas elas estão relacionadas entre si. A figura 3.4 mostra a relação entre a pegada hídrica do consumo nacional e a pegada hídrica dentro de um país em um exemplo simplificado para dois países que mantêm relações comerciais. A pegada hídrica 'interna' do consumo nacional é igual à pegada hídrica dentro do país, na medida em que ela não está relacionada à produção de produtos para exportação. A pegada hídrica 'externa' do consumo nacional pode ser estimada através da importação de produtos (ou seja, a água na forma virtual) e através da pegada hídrica associada do país exportador.

Uma pegada hídrica é expressa em termos de volume de água por unidade de produto ou através do volume de água por unidade de tempo (Quadro 3.2). A pegada hídrica de um processo é expressa como o volume de água por unidade de tempo. Quando dividida pela quantidade de produtos que resultam do processo, ela também pode ser expressa como o volume de água por unidade de produto. A pegada hídrica de um produto é expressa sempre em termos de volume de água por unidade de produto (normalmente m^3/ton ou litro/kg). A pegada hídrica de um consumidor ou produtor ou a pegada hídrica dentro de uma área é sempre expressa como o volume de água por unidade de tempo. Dependendo do nível de detalhe desejado, a pegada hídrica pode ser expressa por dia, mês ou ano.

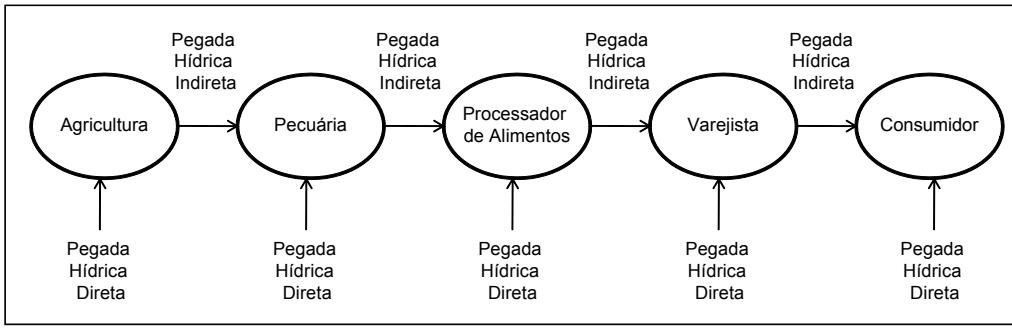


Figura 3.3 *Pegada hídrica direta e indireta em cada estágio da cadeia de suprimento de um produto de origem animal*

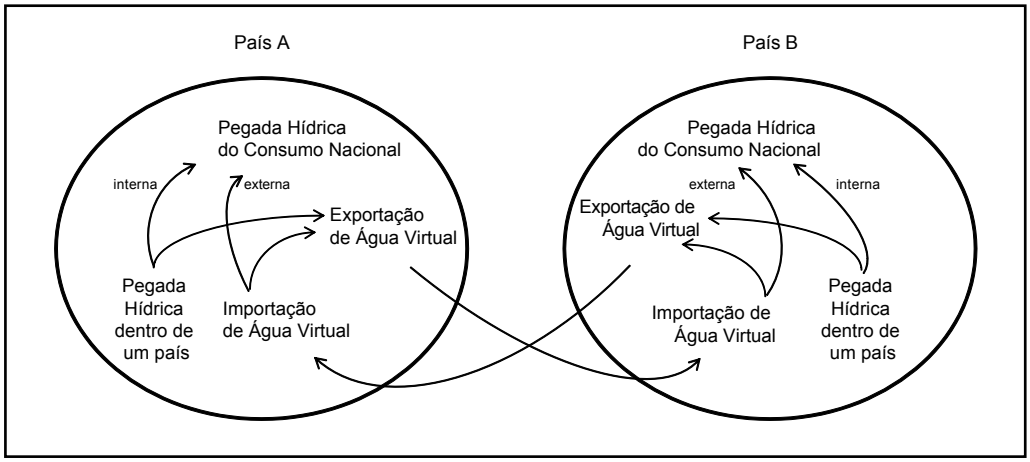


Figura 3.4 *A relação entre a pegada hídrica do consumo nacional e a pegada hídrica dentro de um país, em um exemplo simplificado de dois países que mantêm relações comerciais*

Quadro 3.2 *Unidade da pegada hídrica*

- A pegada hídrica de um processo é expressa como o volume de água por unidade de tempo. Quando dividida pela quantidade de produtos que resultam do processo (unidades de produto por unidade de tempo), pode também ser expressa como o volume de água por unidade de produto.
- A pegada hídrica de um produto é expressa sempre como o volume de água por unidade de produto. Exemplos:
  - volume de água por unidade de massa (para produtos em que o peso é um bom indicador de quantidade)
  - volume de água por unidade monetária (para produtos em que o valor tem mais importância do que o peso)
  - volume de água por unidade (para produtos que são contados em unidades e não por peso)
  - volume de água por unidades de energia (quilocalorias para produtos alimentícios ou joules para eletricidade ou combustíveis)
- A pegada hídrica de um consumidor ou empresa é expressa como o volume de água por unidade de tempo. Pode ser expressa como o volume de água por unidade monetária quando a pegada hídrica por unidade de tempo é dividida pela renda (no caso dos consumidores) ou volume de negócios (no caso das empresas). A pegada hídrica de uma comunidade de consumidores pode ser expressa em termos de volume de água por unidade de tempo per capita.
- A pegada hídrica dentro de uma área delimitada geograficamente é expressa como o volume de água por unidade de tempo. Pode ser expressa em termos de volume de água por unidade monetária quando é dividida pela renda dos consumidores daquela área.

3.3 A pegada hídrica de um passo do processo

3.3.1 A pegada hídrica azul

A pegada hídrica azul é um indicador do uso consuntivo da chamada *água azul*; em outras palavras, a água doce superficial ou subterrânea. O termo 'uso consuntivo da água' se refere a um dos quatro casos abaixo:

1. Quando a água evapora;
2. Quando a água é incorporada ao produto;
3. Quando a água não retorna à mesma bacia hidrográfica, mas sim escoa para outra bacia ou para o oceano;
4. Quando a água não retorna no mesmo período; por exemplo, quando é retirada em um período de seca e retorna em um período de chuvas.

Geralmente, o primeiro componente (a evaporação) é o mais significativo. Consequentemente, o uso consuntivo é geralmente equiparado à evaporação, mas os outros três componentes devem ser incluídos quando forem relevantes. Toda a evaporação relacionada à produção deve ser calculada incluindo a água que evapora no processo de armazenamento (por exemplo, de reservatórios artificiais), o transporte (por exemplo, de canais abertos), o processamento (por exemplo, a evaporação de água aquecida que não é recoletada) e a coleta e o lançamento (por exemplo, de canais de drenagem e de estações de tratamento de esgotos).

'O uso consuntivo da água' não significa que a água desaparece, pois a água permanecerá dentro do ciclo e retornará sempre para algum lugar. A água é um recurso renovável, mas isso não significa que sua disponibilidade seja ilimitada. Em um determinado período, a quantidade de água que repõe as reservas subterrâneas e flui através de um rio é sempre limitada a certo volume. As águas dos rios e aquíferos podem ser usadas para irrigação, usos industriais ou domésticos. Mas durante um determinado período de tempo, não se pode consumir mais água do que o disponível. A pegada hídrica azul mede a quantidade de água disponível que é consumida em um determinado período (em outras palavras, a que não retorna imediatamente para a mesma bacia). Dessa forma, ela fornece uma medida da quantidade de água azul consumida pelo homem. O restante, ou seja, os fluxos de água subterrânea e superficial não utilizados para as atividades humanas permitem a manutenção da vida nos ecossistemas que dependem destes fluxos.

A pegada hídrica azul em uma etapa do processo é calculada da seguinte forma:

$$PH_{proc,azul} = \text{Evaporação da água azul} + \text{Incorporação da água azul} + \text{Vazão de retorno perdida} \quad [\text{volume/tempo}] \quad (1)$$

O último componente se refere à porção do fluxo de retorno que não está disponível para o reúso dentro da mesma bacia hidrográfica, no mesmo período de retirada, seja por ter retornado à outra bacia (ou por ter sido lançado no mar) ou por ter retornado em outro período.

Ao avaliar a pegada hídrica azul de um processo, pode ser importante (dependendo do escopo do estudo) distinguir entre os tipos de fontes de água azul. A divisão mais relevante compreende a água superficial, o fluxo (renovável) de água subterrânea e a água subterrânea fóssil. É possível fazer a distinção ao mencionar, respectivamente, a pegada hídrica azul de água superficial, a pegada hídrica azul de água subterrânea renovável e a pegada hídrica azul de água subterrânea fóssil (ou pegada hídrica azul-clara, azul-escura e preta, se for preferível a utilização de cores). Na prática, geralmente, é muito difícil fazer esta distinção, pois os dados são insuficientes (razão pela qual a distinção frequentemente não é feita). No entanto, se os dados permitirem, é possível especificar a pegada hídrica azul pela fonte (veja exemplos em Aldaya e Llamas, 2008; Aldaya e Hoekstra, 2010; Mekonnen e Hoekstra, 2010b).

Ao especificar a pegada hídrica azul total pela fonte, também é possível distinguir, explicitamente, o uso consuntivo das águas coletadas das chuvas. A coleta da água das chuvas é um caso particular uma vez que se pode questionar se a água coletada das chuvas é considerada água verde ou azul. Na maioria das vezes, a coleta da água das chuvas se refere à captação das águas que iriam para o escoamento. Já que o uso consuntivo da coleta da água das chuvas será subtraído do escoamento recomendamos classificar esse tipo de uso de água como uma pegada hídrica azul. Existem vários tipos de técnicas de coleta da água de chuva para o suprimento de água potável, de água para a pecuária ou para irrigação de culturas e jardins. Enquanto se fala da coleta local de escoamento superficial – como no caso da coleta da água de chuva dos telhados ou outras superfícies rígidas ou quando a água das chuvas é conduzida para pequenas lagoas – pode-se classificar o uso consuntivo dessa água como pegada hídrica azul. Porém, se considerarmos medidas adotadas para aumentar a capacidade de retenção de água do solo ou telhados verdes para retenção da água de chuva, o uso consuntivo dessa água pelas plantas será classificado como pegada hídrica verde.

A unidade da pegada hídrica azul do processo é o volume de água por unidade de tempo, por exemplo, por dia, mês ou ano. Quando dividida pela quantidade do produto resultante do processo, a pegada hídrica do processo também pode ser expressa em termos de volume de água por unidade de produto. No Quadro 3.3, nós discutimos sobre as fontes de dados necessários para o cálculo da pegada hídrica azul.

Quadro 3.3 *Fontes de dados para o cálculo de uma pegada hídrica azul*

Processos industriais: Cada componente da pegada hídrica azul do processo pode ser medido, direta ou indiretamente. Geralmente, sabe-se qual é a quantidade de água adicionada que se torna parte do produto. A quantidade de água que evapora durante o armazenamento, o transporte, o processamento e a disposição, geralmente não é medida diretamente, mas pode ser calculada a partir da diferença entre a captação e os volumes de descarte final. Idealmente, poder-se-ia utilizar bases de dados que contêm os valores típicos de uso consuntivo da água em vários tipos de processos manufatureiros. No entanto, essas bases de dados raramente existem e, quando existem, geralmente contêm dados sobre as retiradas de água (captações)

e não sobre o uso consuntivo da água. Além disso, geralmente faltam detalhes necessários nessas bases de dados, que fornecem valores referentes ao uso da água por setor industrial (por exemplo, refinarias sucroalcooleiras, fábricas têxteis, fábricas de papel e assim por diante) e não por processo manufatureiro. Dois amplos compêndios de dados são os de Gleick (1993) e Van der Leeden et al (1990), mas ambos são relativos aos EUA e bastante limitados às captações de água. Pode-se consultar também as bases de dados privadas, como as da Ecoinvent (2010), mas essas bases geralmente fornecem dados sobre as captações de água, não sobre o uso consuntivo da água. As melhores fontes de dados sobre o consumo da água azul no processo manufatureiro são os próprios fabricantes ou as organizações regionais ou globais dos diferentes setores.

Processos agrícolas: As estatísticas disponíveis sobre o uso da água azul na agricultura geralmente mostram as retiradas totais da água utilizada apenas para irrigação e não inclui o uso *consuntivo* da água azul. A medição da evapotranspiração da água de um campo é uma tarefa trabalhosa. E, mesmo quando a evapotranspiração total é medida, é necessário estimar qual é a quantidade que corresponde à água azul. Dessa forma, geralmente confiamos nos modelos de balanço hídrico que utilizam dados sobre o clima, o solo, sobre as características de culturas e o volume de irrigação. A seção 3.3.4 mostra com mais detalhes como estimar a pegada hídrica azul no desenvolvimento de culturas, baseada em um modelo de balanço hídrico. Com base em mapas globais, que identificam os diferentes tipos de culturas por região e mapas globais de clima, solos e irrigação, alguns grupos de pesquisa começaram a fazer estimativas espaciais explícitas das pegadas hídricas azuis (e verdes) do desenvolvimento de culturas. Apenas para o trigo, por exemplo, há quatro conjuntos de dados globais disponíveis: Liu et al (2007, 2009), Siebert e Döll (2010), Mekonnen e Hoekstra (2010a) e Zwart et al (2010). No portal da Rede de Pegada Hídrica na internet – www.waterfootprint.org – há dados geográficos explícitos da pegada hídrica para as principais culturas do mundo. Esses conjuntos de dados podem ser usados para calcular a pegada hídrica no Nível B (veja Tabela 2.1). Para o cálculo no Nível C é necessário aplicar um modelo apropriado e específico de balanço hídrico junto com dados específicos do local.

Finalizaremos esta seção apresentando dois casos específicos, que podem gerar dúvidas ao leitor sobre como fazer o cálculo adequadamente. O primeiro caso refere-se à questão da reciclagem e do reúso da água. O segundo caso apresenta como fazer o cálculo da pegada hídrica em uma situação de transposição de água entre bacias hidrográficas.

Reciclagem e reúso da água

A reciclagem e o reúso da água são frequentemente utilizados como termos intercambiáveis. Aqui, definimos a 'reciclagem da água' especificamente como a reutilização local da água para o mesmo propósito; e o 'reúso da água' como o reúso em outros lugares, possivelmente para outros fins. No caso da reciclagem, podemos fazer uma distinção adicional entre a reciclagem da água residual (tratada para o reúso) e a da água evaporada (condensação do vapor d'água para reúso). Os tipos diferentes de reciclagem e reúso da água são apresentados em um exemplo simples na Figura 3.5. A figura mostra dois processos, sendo que o segundo deles reutiliza a água residual (tratada) do primeiro. O esquema mostra que, para as pegadas hídricas azuis dos dois processos, o que importa é o uso consuntivo da água (evaporação e

incorporação nos produtos). A reciclagem e o reúso da água podem auxiliar na redução da pegada hídrica azul de um processo apenas quando reduzem efetivamente o uso consuntivo da água. A reciclagem e o reúso da água também podem auxiliar significativamente na redução da pegada hídrica cinza dos usuários, mas isso será discutido na Seção 3.3.3.

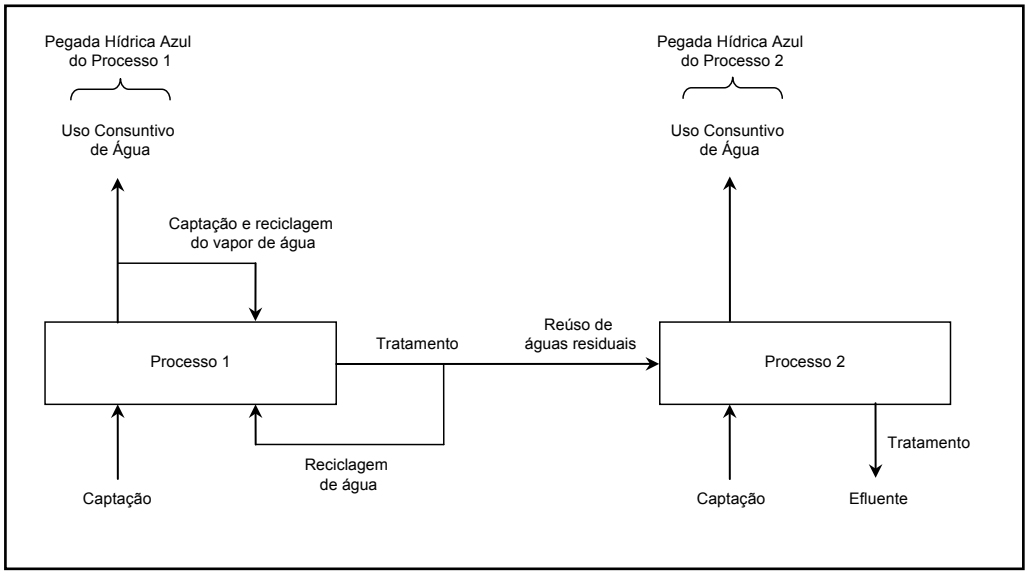


Figura 3.5 *O cálculo da pegada hídrica azul no caso da reciclagem e do reuso da água*

Transposição de água entre bacias

A transposição de água entre bacias consiste na captação de água de uma bacia hidrográfica A e seu transporte – através de aquedutos, canais ou transporte de carga (por exemplo, caminhão ou navio) – para uma bacia B. De acordo com a definição da pegada hídrica azul, a transferência da água de uma bacia hidrográfica para fora da bacia é classificada como uma pegada hídrica azul dentro daquela bacia, pois se trata de 'uso consuntivo da água'. A pegada hídrica azul do processo de transposição será alocada aos beneficiários da água da bacia receptora. Portanto, a pegada hídrica azul dos processos da bacia B que utilizam água da bacia A pertence a esta última e sua magnitude equivale à quantidade de água que ela recebeu, mais as possíveis perdas ocorridas durante o percurso. Se os usuários da água da bacia receptora B devolverem (parte da) a água usada para sua própria bacia, veremos que água é 'adicionada' aos recursos hídricos da bacia B. A água 'adicionada' pode compensar a pegada hídrica azul de outros usuários que tenham *consumido* água da bacia B; nesse caso, pode-se argumentar que a transposição de água entre bacias gera uma 'pegada hídrica azul negativa' para a bacia receptora (uma vez que não evapore e seja, de fato, adicionada ao sistema de água da bacia receptora). A pegada hídrica negativa da bacia B compensa parcialmente a pegada hídrica azul positiva de outros usuários na bacia B. Observe que ela não compensa a pegada hídrica azul na bacia A! Quando o objetivo é avaliar a pegada hídrica geral das pessoas na bacia B, recomendamos incluir

uma possível 'pegada hídrica azul negativa' que resulta da transposição efetiva da água para a bacia (desde que ela realmente compense uma pegada hídrica azul positiva na bacia no mesmo período). No caso do cálculo da pegada hídrica de processos individuais, produtos, consumidores ou produtores, é importante manter as pegadas hídricas azuis negativas fora dos cálculos da pegada hídrica, para separar claramente a avaliação sobre a pegada hídrica bruta de um processo, um consumidor ou produtor, da avaliação sobre possíveis compensações. A questão da compensação (subtrabilidade) é discutível e deve ser tratada separadamente da fase de cálculo. Alguns argumentam que um bom desempenho em uma bacia (por exemplo, através de uma pegada hídrica azul negativa naquela bacia) não pode compensar a pegada hídrica azul positiva em outra bacia, já que a depleção de água e os impactos ocorridos em um local não serão sanados ao adicionar água em outro lugar. Neste caso, a adição de uma pegada hídrica azul negativa a uma pegada hídrica azul positiva geraria um resultado enganoso. Uma discussão adicional sobre a impossibilidade de compensar a pegada hídrica em uma bacia com a adição de água em outra bacia pode ser encontrada no Capítulo 5 (Quadro 5.2).

3.3.2 Pegada hídrica verde

A pegada hídrica verde é um indicador do uso da *água verde* por parte do homem. A água verde refere-se à precipitação no continente que não escoa ou não repõe a água subterrânea, mas é armazenada no solo ou permanece temporariamente na superfície do solo ou na vegetação. Eventualmente, essa parte da precipitação evapora ou é transpirada pelas plantas. A água verde pode ser produtiva para o desenvolvimento das culturas (mas nem toda água verde pode ser absorvida pelas culturas, pois sempre haverá evaporação de água do solo e porque nem todas as áreas e nem todos os períodos do ano são adequados para o crescimento de culturas).

A pegada hídrica verde é o volume da água da chuva consumido durante o processo de produção. Isto é particularmente relevante para os produtos agrícolas e florestais (grãos, madeira etc.), correspondendo ao total de água da chuva que sofre evapotranspiração (dos campos e plantações) mais a água incorporada nos produtos agrícolas e florestais colhidos. A fórmula para calcular a pegada hídrica verde em uma etapa do processo é a seguinte:

$$PH_{proc,verde} = \text{Evaporação de água verde} + \text{Incorporação de água verde} \quad [\text{volume/tempo}] \qquad (2)$$

A distinção entre as pegadas hídricas azul e verde é importante, uma vez que os impactos hidrológico, ambiental e social, bem como os custos de oportunidade referentes ao uso de águas superficiais e subterrâneas para a produção diferem muito dos impactos e custos do uso da água da chuva (Falkenmark e Rockström, 2004; Hoekstra e Chapagain, 2008).

O consumo da água verde na agricultura pode ser medido ou estimado através de um conjunto de fórmulas empíricas ou através de um modelo de cultura adequado para a estimativa da evapotranspiração, com base nos dados de clima, solo e as características

da cultura. Na Seção 3.3.4, apresentaremos em detalhes como estimar a pegada hídrica verde de uma cultura.

3.3.3 A pegada hídrica cinza

A pegada hídrica cinza de uma etapa do processo é um indicador do grau de poluição da água que pode estar associado à etapa do processo. É definida como o volume de água necessário para assimilar a carga de poluentes baseado nas concentrações em condições naturais e nos padrões ambientais existentes. O conceito de pegada hídrica cinza surgiu do reconhecimento de que o tamanho da poluição hídrica pode ser expresso em termos de volume de água necessário para diluir os poluentes de forma que eles se tornem inócuos (Quadro 3.4).

Quadro 3.4 *A origem do conceito da pegada hídrica cinza*

A pegada hídrica cinza refere-se ao volume de água necessário para assimilar efluentes, ou seja, o volume de água necessário para diluir os poluentes de modo que a qualidade da água em seu estado natural seja mantida acima dos padrões mínimos de qualidade da água aceitáveis. A ideia de expressar a poluição da água em termos de volume de água necessário para diluir efluentes não é recente. Falkenmark e Lindh (1974) sugeriram, como regra básica, usar um fator de diluição equivalente a 10 a 50 vezes o fluxo de águas residuais. Postel et al (1996) aplicaram um fator de diluição para a absorção de efluentes de 28 litros por segundo para cada 1000 pessoas. Estes fatores genéricos de diluição não explicitam os tipos de poluição e os níveis de tratamento antes do lançamento, mas assumem, implicitamente, algumas características médias do fluxo de efluentes humanos. Chapagain et al (2006b) propuseram que o fator de diluição fosse dependente do tipo de poluente e a utilização do padrão de qualidade da água em seu estado natural para um determinado poluente como critério para quantificar a necessidade de diluição. O termo 'pegada hídrica cinza' foi utilizado pela primeira vez por Hoekstra e Chapagain (2008) e foi definido como a carga de poluente dividida pela concentração máxima aceitável no corpo de água receptor. Posteriormente, reconheceu-se que a pegada hídrica cinza é calculada com mais precisão dividindo-se a carga de poluente pela diferença entre a concentração máxima aceitável e a concentração natural (Hoekstra et al, 2009a). Em decorrência do trabalho realizado pela equipe da pegada hídrica cinza da Water Footprint Network (Zarate, 2010a), ocorreram vários refinamentos, incluindo o reconhecimento de que a qualidade da água captada deve ser levada em conta e a ideia de abordar múltiplos níveis que permitam distinguir os diferentes níveis de detalhe na avaliação da pegada hídrica cinza, no caso da poluição difusa.

Embora a pegada hídrica cinza possa ser compreendida como uma 'necessidade de diluição da água', preferimos não usar esse termo, visto que ele tem causado confusão para algumas pessoas, levando-as a pensar na necessidade de diluir poluentes ao invés de reduzir suas emissões. Este não é, obviamente, o significado do conceito. A pegada hídrica cinza é um indicador de poluição e quanto menos poluição houver, melhor. O tratamento de efluentes antes da disposição resultará, obviamente, na redução da pegada hídrica cinza, chegando idealmente a zero.

Alguns estudos recentes que incluem a quantificação da pegada hídrica cinza são: Dabrowski et al (2009); Ercin et al (2009); Gerbens-Leenes e Hoekstra (2009); Van Oel et al (2009); Aldaya e Hoekstra (2010); Bulsink et al (2010); Chapagain e Hoekstra (2010); e Mekonnen e Hoekstra (2010a, b).

A pegada hídrica cinza é calculada pela divisão da carga poluente (*L*, em massa/tempo) pela diferença entre a concentração do padrão ambiental de qualidade da água para um determinado poluente (a concentração máxima aceitável c_{max}, em massa/volume) e sua concentração natural no corpo d'água receptor (c_{nat}, em massa/volume).

$$PH_{proc,\ cinza} = L / (c_{max} - c_{nat}) \qquad \text{[volume/tempo]} \qquad (3)$$

A concentração natural em um corpo d'água receptor corresponde à concentração que ocorreria se não houvesse intervenções humanas na bacia hidrográfica. Para substâncias de origem humana que naturalmente não ocorrem na água, $c_{nat} = 0$. Quando as concentrações naturais não são conhecidas com precisão, mas são consideradas baixas, pode-se considerar $c_{nat} = 0$, para simplificação. No entanto, isso resultará em uma pegada hídrica cinza subestimada, quando c_{nat} não for realmente igual a zero.

Pode-se questionar por que a referência é a concentração natural e não a concentração real no corpo d'água receptor. A explicação é que a pegada hídrica cinza é um indicador da capacidade de assimilação utilizada. A capacidade de assimilação de um corpo d'água receptor é função da diferença entre a concentração máxima permitida e a concentração natural de uma substância. Se comparássemos a concentração máxima permitida com a concentração real de uma substância, teríamos a capacidade de assimilação *remanescente*, que, obviamente, varia o tempo todo, em resposta ao nível real de poluição em um determinado momento.

Os cálculos da pegada hídrica cinza são realizados usando padrões de qualidade da água em seu estado natural para o corpo d'água receptor, em outras palavras, padrões relacionados às concentrações máximas permitidas. A razão para isso é que a pegada hídrica cinza visa mostrar o volume necessário de água dos rios em seu estado natural para assimilar efluentes químicos. Os padrões de qualidade da água em seu estado natural formam uma categoria específica dos padrões de qualidade da água. Há outros padrões, tais como os padrões de qualidade da água potável, de água de irrigação e padrões de lançamento (de efluentes). É necessário cuidado ao se utilizar os padrões de qualidade da água em seu estado natural. Para certa substância, o padrão de qualidade da água em seu estado natural pode variar de um corpo d'água para outro. Além disso, a concentração natural pode variar de acordo com a região. Consequentemente, a mesma carga de um determinado poluente pode resultar em distintas pegadas hídricas cinzas em distintos lugares. Isto é razoável, pois o volume de água necessário para assimilar a carga de um determinado poluente será diferente, dependendo da diferença entre a concentração máxima permitida e a concentração natural.

Embora os padrões de qualidade da água em seu estado natural sejam definidos nas legislações nacionais ou estaduais, definidos por bacia e/ou corpo d'água no âmbito da legislação nacional ou ainda através de acordos regionais (como no âmbito da Diretiva Europeia de Recursos Hídricos – veja EU, 2000), não existem padrões para todas as substâncias e para todos os lugares. O mais importante, obviamente, é

especificar quais padrões de qualidade da água e quais concentrações naturais estão sendo adotados no cálculo de uma pegada hídrica cinza.

Tanto os padrões de qualidade da água em seu estado natural, quanto as concentrações naturais variam para os corpos d'água superficiais e subterrâneos. Os valores limites das águas subterrâneas são frequentemente baseados nos requerimentos de água potável, enquanto as concentrações máximas toleráveis em águas superficiais são tipicamente determinadas de acordo com considerações ecológicas. Portanto, poder-se-ia propor o cálculo separado da pegada hídrica cinza para os sistemas superficiais e subterrâneos. O problema em fazer isso, no entanto, é que as águas subterrâneas geralmente acabam se tornando água superficial, de modo que, para uma carga de poluente de águas subterrâneas, podemos tomar a diferença entre o padrão de qualidade da água e as concentrações naturais para o corpo d'água mais crítico (tanto o sistema subterrâneo ou o superficial). Para as cargas do sistema superficial podemos adotar os dados relevantes para o sistema de água superficial. Quando se sabe precisamente quais cargas chegam (primeiro) ao sistema de água subterrânea e quais chegam ao sistema de água superficial, faz sentido apresentar dois componentes da pegada hídrica cinza: a pegada hídrica cinza da água subterrânea e a pegada hídrica cinza da água superficial.

Uma pegada hídrica cinza maior que zero não significa, automaticamente, que os padrões ambientais de qualidade da água foram violados; mostra apenas que parte da capacidade de assimilação já foi utilizada. Enquanto a pegada hídrica cinza for menor do que a vazão do rio ou o fluxo das águas subterrâneas, ainda há água suficiente para diluir os poluentes, mantendo a concentração abaixo do padrão. Quando a pegada hídrica cinza calculada é precisamente igual ao fluxo de água natural, a concentração resultante estará exatamente nos limites do padrão. Quando o efluente contém uma carga muito alta de substâncias químicas, pode acontecer que a pegada hídrica cinza calculada exceda a vazão do rio ou o fluxo de águas subterrâneas. Neste caso, a poluição excede a capacidade de assimilação do corpo d'água receptor. O fato de a pegada hídrica cinza ser maior do que o fluxo de água existente reforça a noção de que a pegada hídrica cinza não representa 'o volume de água poluída' (pois não seria possível poluir um volume maior do que o existente). Ao contrário, a pegada hídrica cinza é um indicador da severidade da poluição da água, expressa em termos de volume de água necessário para assimilar a carga de poluentes existente.

A abordagem adotada para calcular a pegada hídrica cinza também é a mesma da denominada abordagem da carga crítica (Quadro 3.5). Em ambos os casos reconhece-se que a amplitude de um corpo d'água destinada à assimilação de efluentes é limitada pela diferença entre a concentração máxima e a concentração natural. A carga crítica refere-se à situação em que o espaço destinado para a absorção de efluentes foi totalmente consumido. Na carga crítica, a pegada hídrica cinza será igual ao fluxo da água disponível, que será necessário para diluir totalmente as substâncias químicas a níveis de concentrações aceitáveis.

Quadro 3.5 *O conceito de carga crítica*

Quando a carga de efluentes lançada em um corpo d'água corrente atinge uma determinada 'carga crítica', a pegada hídrica cinza será igual ao escoamento, o que significa que todo o escoamento é apropriado para a assimilação dos efluentes. A carga crítica (L_{crit}, em massa/tempo) corresponde à carga de poluentes que irá consumir completamente a capacidade de assimilação do corpo d'água receptor. Ela pode ser obtida pela multiplicação do escoamento do corpo d'água (*R*, em volume/tempo) pela diferença entre a concentração máxima aceitável e a concentração natural:

$$L_{crit} = R \, x \, (c_{max} - c_{nat}) \quad \text{[massa/tempo]}$$

O conceito de 'carga crítica' é semelhante ao conceito da 'carga máxima total diária' (CMTD), desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental do EUA (EPA, 2010a). A CMTD estima a quantidade máxima permitida de poluente para um determinado corpo d'água, de modo que os padrões de qualidade da água para aquele poluente sejam respeitados e mantidos, alocando essa carga a fontes pontuais e difusas, que incluem tanto as fontes antropogênicas dos poluentes, como as de origem natural. Outro conceito intimamente relacionado ao conceito de 'carga crítica' é o da 'adição máxima admissível' (AMA), que é definida como a diferença entre a 'concentração máxima permitida' (CMP) e a concentração natural, ou seja, $c_{max} - c_{nat}$ (Crommentuijn et al, 2000).

Fontes pontuais de poluição da água

No caso das fontes pontuais de poluição da água, ou seja, quando substâncias químicas são diretamente lançadas em um corpo d'água superficial na forma de lançamento de água residual, a carga pode ser estimada medindo o volume do efluente e a concentração de uma substância química no efluente. Mais precisamente, a carga de poluente pode ser calculada multiplicando-se o volume efluente (*Efl*, em volume/tempo) pela concentração de um poluente no efluente (c_{efl}, em massa/volume), menos o volume da água captada (*Cap*, em volume/tempo) multiplicado pela concentração da água captada (c_{cap}, em massa/volume). A pegada hídrica cinza pode, então, ser calculada pela seguinte equação:

$$PH_{proc,cinza} = \frac{L}{c_{max} - c_{nat}} = \frac{Efl \cdot c_{efl} - Cap \cdot c_{cap}}{c_{max} - c_{nat}} \quad \text{[volume/tempo]} \qquad (4)$$

A carga de poluente *L* é definida como a carga adicional àquela já contida no corpo d'água receptor antes da interferência da atividade em questão. O Anexo IV mostra um exemplo prático da aplicação desta equação. Na maioria dos casos, a quantidade de

substâncias químicas lançadas em um corpo d'água ($Efl \times c_{Efl}$) será igual ou maior que a quantidade de substâncias químicas na água captada ($Cap \times c_{cap}$). Consequentemente, a carga poluente é positiva. Em casos excepcionais (quando $c_{Efl} < c_{cap}$ ou quando $Efl < Cap$), pode-se obter uma carga negativa, que não deve ser considerada no cálculo da pegada hídrica (já que, nesse caso, o resultado da pegada hídrica seria zero). A contribuição positiva para o meio ambiente no caso excepcional de uma 'carga negativa' deve ser considerada, mas não deve ser contabilizada nos cálculos da pegada hídrica, a fim de separar as discussões sobre a possível compensação da pegada hídrica dentre as pegadas hídricas positivas existentes. A compensação da pegada hídrica (veja Quadro 5.2 no Capítulo 5) deve ser discutida explicitamente e não deve ser omitida no cálculo. É importante observar que quando a água necessária para um determinado processo for captada da bacia A e o efluente resultante for lançado na bacia B deve-se considerar $Cap = 0$ para o cálculo da pegada hídrica cinza na bacia B.

Quando não há uso consuntivo da água, isto é, quando o volume de efluentes lançado é igual ao volume de água captado, a equação acima é simplificada em:

$$PH_{proc,cinza} = \frac{c_{efl} - c_{cap}}{c_{max} - c_{nat}} \cdot Efl \qquad \text{[volume/tempo]} \qquad (5)$$

O coeficiente (quociente) da variável *Efl* é o chamado 'fator de diluição', que representa o número de vezes em que o volume de efluente deve ser diluído com água natural a fim de atingir o nível de concentração máximo aceitável. A utilização desta equação em casos específicos é discutida no Quadro 3.6.

Reciclagem e reúso da água

Através da Equação 5, pode-se observar que a água reciclada ou a água de reúso irá afetar a pegada hídrica cinza. Quando a água é totalmente reciclada ou reutilizada para o mesmo ou outro fim – após o tratamento, quando necessário –, não há lançamento de efluentes no meio ambiente e a pegada hídrica cinza será igual a zero. Porém, se a água for descartada no meio ambiente, por uma ou mais vezes após o reúso, certamente, haverá uma pegada hídrica cinza relacionada à qualidade do efluente.

Tratamento de águas residuais

Quando a água residual é tratada antes de ser lançada no ambiente isso obviamente diminui a concentração de poluentes no efluente final, reduzindo a pegada hídrica cinza. Vale ressaltar que a pegada hídrica cinza de um processo depende da qualidade do efluente no momento de seu lançamento final no ambiente e não de sua qualidade antes do tratamento. O tratamento da água residual poderá zerar a pegada hídrica cinza quando as concentrações de poluentes no efluente forem iguais ou menores do que as concentrações existentes na água captada. Cabe mencionar que o processo de tratamento da água residual em si terá uma pegada hídrica azul quando houver evaporação durante o processo de tratamento em lagoas de estabilização.

Quadro 3.6 *A pegada hídrica cinza em diferentes casos de poluição de fonte pontual*

Vamos considerar um caso comum, em que o volume do efluente é igual (ou próximo) ao volume de captação.

- Quando $c_{Efl} = c_{cap}$, a pegada hídrica cinza associada é nula. Isso pode ser facilmente compreendido, pois a concentração do corpo d'água receptor permanecerá inalterada.
- Quando $c_{Efl} = c_{max}$, a pegada hídrica cinza é igual a uma determinada fração do volume do efluente. Porém, quando $c_{cap} = c_{nat}$, a pegada hídrica cinza é precisamente igual ao volume do efluente. Alguém poderia perguntar: por que há uma pegada hídrica cinza maior do que zero quando a concentração do efluente respeita o padrão de qualidade da água em seu estado natural? A resposta é que parte da capacidade de assimilação de poluentes foi consumida. Por causa do lançamento do efluente a concentração de substâncias químicas no corpo d'água receptor muda de c_{nat} na direção de c_{max}. Num caso extremo, em que toda a água de um rio tenha sido captada e devolvida como efluente contendo uma concentração igual à c_{max}, a capacidade total de assimilação do rio será totalmente consumida, ou seja, a pegada hídrica cinza poderá ser igual ao escoamento total.
- Quando $c_{Efl} < c_{cap}$, a pegada hídrica cinza calculada é negativa, o que pode ser explicado pelo fato de que o efluente é mais limpo do que a água captada. 'Limpar' o rio quando ele ainda se encontra nas condições naturais não faz muito sentido, pois algumas concentrações de fundo ('background') são aparentemente naturais. Se, no entanto, houver aumento na concentração natural em decorrência de outras atividades, a limpeza será útil na recuperação das condições naturais da qualidade da água, o que contribui positivamente para sua qualidade. No entanto, a pegada hídrica cinza negativa tem que ser ignorada no processo de cálculo, visando separar a discussão sobre a pegada hídrica positiva real de um indivíduo da discussão sobre o possível papel desse indivíduo no que se refere à compensação. A questão da compensação das pegadas hídricas será discutida no Capítulo 5 (Quadro 5.2).
- Quando $c_{max} = 0$ (no caso da total proibição de um poluente tóxico ou altamente persistente, para a qual $c_{nat} = 0$), qualquer efluente com uma concentração maior que zero irá gerar uma pegada hídrica cinza infinitamente grande. Esta tendência ao infinito se deve à proibição total: sempre que um poluente for absolutamente inaceitável a pegada atingirá proporções enormes.
- Sempre que $c_{max} = c_{nat}$, a pegada hídrica cinza também atingirá valores elevados, mas essa condição dificilmente ocorrerá, uma vez que o estabelecimento de padrões máximos toleráveis iguais à concentração natural não faz sentido.

Para a poluição térmica podemos aplicar uma abordagem semelhante à da poluição por substâncias químicas. A pegada hídrica cinza é agora calculada com base na diferença entre a temperatura de um fluxo efluente e o corpo d'água receptor (ºC), dividida pelo aumento da temperatura máxima aceitável (em ºC), multiplicado pelo volume do efluente (volume/tempo):

$$PH_{proc,cinza} = \frac{T_{efl} - T_{cap}}{T_{max} - T_{nat}} \cdot Efl \qquad \text{[volume/tempo]} \tag{6}$$

O aumento máximo de temperatura aceitável ($T_{max} - T_{nat}$) depende do tipo de água e das condições locais. Se não houver norma local disponível, recomendamos adotar um valor padrão de 3ºC (EU, 2006).

Fontes difusas de poluição da água

A estimativa da carga química no caso de fontes difusas de poluição da água não é tão simples como no caso de fontes pontuais. Quando substâncias são aplicadas no solo, como no caso da disposição de resíduos sólidos ou do uso de fertilizantes ou pesticidas, é possível que apenas uma fração lixivie para a água subterrânea ou escoe superficialmente em direção a um curso d'água. Neste caso, a carga de poluente corresponde à fração da quantidade total de substâncias químicas lançadas ou aplicadas ao solo que termina por atingir a água subterrânea ou superficial. A quantidade de substâncias químicas aplicada pode ser medida, mas a fração que atinge a água subterrânea ou superficial não, uma vez que ela chega à água de forma difusa não havendo clareza sobre onde e quando medir. Uma possibilidade seria medir a qualidade da água no exutório de uma bacia, mas as diversas fontes de poluição chegam juntas, de forma que o desafio seria atribuir às concentrações medidas as diferentes fontes existentes. Portanto, é prática comum e também recomendada estimar - através de modelos simples ou complexos - a fração de substâncias químicas que atingem os recursos hídricos. O modelo mais simples consiste em supor que uma determinada fração fixa das substâncias químicas atingirá a água subterrânea ou superficial:

$$PH_{proc,cinza} = \frac{L}{c_{max} - c_{nat}} = \frac{\alpha \cdot Apl}{c_{max} - c_{nat}} \quad \text{[volume/tempo]} \qquad (7)$$

O fator adimensional α representa a fração de lixiviação ou escoamento, definido como a fração de substâncias químicas aplicadas que atingem os corpos d'água. A variável *Apl* representa a quantidade de substâncias químicas aplicada no solo em um determinado processo (em massa/tempo). Este método é o mais simples e menos detalhado para estimar a pegada hídrica cinza no caso de poluição difusa, sendo recomendado somente como um método preliminar que deve ser utilizado caso não haja tempo de realizar um estudo mais detalhado. É possível alcançar maior detalhe na análise cuja abordagem pode ser dividida em três níveis: desde o nível 1 (o método preliminar) ao nível 3 (o método mais detalhado). Nos níveis 2 e 3, devem ser utilizados dados mais específicos e métodos mais avançados (Quadro 3.7).

Quadro 3.7 *Abordagem de três níveis para a estimativa das cargas de poluição difusa*

Uma abordagem de três níveis é recomendada para calcular a poluição por cargas difusas, semelhante àquela usada pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) no cálculo das emissões de gás de efeito estufa (IPCC, 2006). Do nível 1 ao 3 a precisão aumenta, mas a viabilidade de aplicação diminui.

- O nível 1 utiliza uma fração fixa entre a quantidade de substâncias químicas aplicadas no solo e a quantidade que atinge a água superficial ou subterrânea. A fração deve ser obtida da literatura existente e pode depender da substância química em questão. A estimativa do nível 1 servirá como uma estimativa preliminar, mas obviamente exclui fatores relevantes, tais como o tipo e o manejo do solo, a hidrologia e a interação entre as diversas substâncias químicas no solo.
- O nível 2 apresenta abordagens de modelos simples e padronizados, que podem ser utilizadas com base em dados amplamente disponíveis (tais como balanços de nutrientes agrícolas, dados referentes à perda de solo, hidrologia básica, informações geológicas e hidromorfológicas). Essas abordagens por modelos simples e padronizados devem derivar de modelos amplamente válidos e aceitos.
- O nível 3 utiliza técnicas sofisticadas de modelagem visto que os recursos disponíveis assim permitem e o tópico escolhido delas necessita. Embora existam modelos mecanísticos detalhados de fluxos de contaminantes através do solo, sua complexidade dificulta a aplicação no cálculo da poluição por cargas difusas no nível 3. No entanto, os modelos empiricamente validados baseados em informações referentes a práticas agrícolas e que utilizam dados simplificados sobre o solo e o clima estão atualmente disponíveis para uso em estudos de cargas difusas. Os estudos no nível 3 devem ser usados para refinar as abordagens realizadas no nível 2.

O efeito da evaporação sobre a qualidade da água

Uma forma específica de 'poluição' pode ocorrer quando a qualidade da água é deteriorada em decorrência da evaporação. Quando uma parte do fluxo da água evapora as concentrações de substâncias químicas no fluxo de água remanescente irão aumentar (pois quando a água evapora, as substâncias químicas permanecem). Considere, por exemplo, o caso de altas concentrações de sal na água de drenagem de campos irrigados. Quando há uma irrigação contínua com pouca drenagem comparada com o volume de água que evapora, os sais naturalmente contidos na água de irrigação se acumulam no solo (já que a água evapora e não o sal). Assim, a água de drenagem terá um conteúdo de sal relativamente alto. Alguém pode chamar isso de 'poluição'. Mas, obviamente, é um tipo de poluição diferente de quando o homem adiciona substâncias químicas à água, pois nesse caso não há adição de substâncias químicas pelo homem, mas substâncias químicas naturalmente presentes que se tornam concentradas devido à evaporação da água. Com este exemplo, podemos generalizar todos os casos em que 'a água é retirada do sistema através da evaporação'. Isso também ocorre, por exemplo, em reservatórios artificiais onde a água evapora e as substâncias químicas são acumuladas.

Aumentar a concentração de substâncias químicas em um corpo d'água pela 'retirada da água através da evaporação enquanto as substâncias químicas permanecem' é efetivamente o mesmo que adicionar a ele uma carga extra de poluentes. Se retirarmos X m^3 de água pura, a 'carga equivalente' é X m^3 vezes a concentração natural no corpo d'água (c_{nat} em massa por m^3). A 'carga equivalente' de X × c_{nat} (expressa em massa) é natural, mas não está embutida na água natural, pois a água foi perdida (evaporou). Essa 'carga equivalente' tem que ser assimilada por outras águas naturais.

A pegada hídrica cinza relacionada a essa 'carga equivalente' pode ser calculada através da equação padrão onde a pegada hídrica cinza é igual à 'carga equivalente' dividida pela diferença entre a concentração máxima e a concentração natural (Equação 3). Esta pegada hídrica cinza se somará às pegadas hídricas cinzas relacionadas às cargas reais na bacia (em outras palavras, cargas de substâncias químicas adicionadas em decorrência de atividades humanas).

Acumulação ao longo do tempo e distintos poluentes

Os valores diários para a pegada hídrica cinza podem ser somados ao longo do ano para se obter os valores anuais. Quando um fluxo de efluentes envolve mais de uma forma de poluição, como geralmente ocorre, a pegada hídrica cinza é determinada com base no poluente mais crítico, ou seja, aquele que está associado à maior pegada hídrica cinza específica dos poluentes. Para identificar um indicador global de poluição a pegada hídrica baseada na substância crítica é suficiente. Caso haja interesse na estimativa das pegadas hídricas cinzas específicas para cada poluente é possível calcular seus valores separadamente. Na formulação de medidas de resposta referentes a poluentes específicos, isto é, obviamente, muito relevante. Para uma análise geral em termos de poluição, no entanto, a utilização da pegada hídrica cinza para a substância crítica é o suficiente.

Como uma observação final, vale ressaltar que as pegadas hídricas cinzas são calculadas com base nas cargas (geradas pelo homem) que são lançadas nos corpos de água doce e não com base nas cargas que podem finalmente ser medidas no fluxo do rio ou da água subterrânea em algum ponto a jusante. Como a qualidade da água evolui com o tempo e ao longo de seu curso como resultado de processos naturais, a carga de uma determinada substância química em um ponto a jusante pode ser significativamente diferente da soma das cargas que outrora foram lançadas no curso d'água (a montante). Optar por medir a pegada hídrica cinza no ponto em que os poluentes entram no sistema hídrico (subterrâneo ou superficial) tem a vantagem de ser relativamente simples – pois não é necessário modelar o processo que altera a qualidade da água ao longo do rio – e seguro – já que a qualidade da água pode melhorar ao longo do fluxo de um rio devido ao processo de autodepuração – mas ainda não está claro porque se deve usar a qualidade melhorada da água a jusante como indicador, ao invés de medir o impacto imediato de uma carga no ponto onde ela é lançada no sistema. Enquanto o indicador da pegada hídrica cinza não considera os processos naturais que possam melhorar a qualidade da água ao longo do fluxo hídrico, ele também não leva em conta os processos que consideram o efeito combinado de poluentes que pode, às vezes, ser maior do que o esperado se levarmos em conta as concentrações de substâncias químicas consideradas separadamente. No final, a pegada hídrica cinza depende fortemente dos padrões de qualidade da água em seu estado natural (concentrações máximas aceitáveis), o que é razoável, já que esses padrões são definidos com base nas melhores informações disponíveis sobre os possíveis efeitos nocivos das substâncias químicas incluindo sua possível interação com outras substâncias.

3.3.4 O cálculo da pegada hídrica verde, azul e cinza de uma plantação ou cultura em desenvolvimento

Muitos produtos contêm ingredientes oriundos de culturas agrícolas ou florestais. As culturas são usadas na produção de alimentos, ração, fibra, combustível, óleos, sabões, cosméticos, etc. A madeira das árvores e arbustos é utilizada em serrarias, na fabricação de papel e como combustível. Considerando que os setores agrícola e florestal são importantes consumidores de água, os produtos que envolvem estes setores em seu sistema de produção geralmente apresentam uma pegada hídrica significativa. Para estes produtos é importante se observar a pegada hídrica do processo de desenvolvimento das culturas ou das árvores. Esta seção aborda os detalhes da avaliação da pegada hídrica do processo de desenvolvimento das lavouras e florestas plantadas. O método é aplicável tanto a culturas anuais quanto a culturas permanentes, sendo que as árvores podem ser consideradas uma cultura permanente. No texto abaixo, o termo 'cultura' é usado em sentido amplo e inclui também a silvicultura.

A pegada hídrica total de um processo de desenvolvimento de lavouras ou árvores (PH_{proc}) consiste na soma das componentes verde, azul e cinza:

$$PH_{proc} = PH_{proc,verde} + PH_{proc,azul} + PH_{proc,cinza} \quad \text{[volume/massa]} \tag{8}$$

Vamos expressar todos os processos de pegadas hídricas nesta seção por unidade de produto, ou seja, o volume de água por massa. Normalmente, expressamos os processos das pegadas hídricas nos setores agrícola e florestal como m^3/ton, equivalente a litro/kg.

A componente verde da pegada hídrica do processo de crescimento de uma plantação ou floresta ($PH_{proc,verde}$, m^3/ton) é calculada como a componente verde da Demanda Hídrica da Cultura (DHC^1_{verde}, m^3/ha) dividida pela produtividade da cultura (*Prtv*, ton/ha). A componente azul ($PH_{proc,azul}$, m^3/ton) é calculada de forma parecida:

$$PH_{proc,verde} = \frac{DHC_{verde}}{Prtv} \quad \text{[volume/massa]} \tag{9}$$

$$PH_{proc,azul} = \frac{DHC_{azul}}{Prtv} \quad \text{[volume/massa]} \tag{10}$$

A produtividade de culturas anuais pode ser baseada nas estatísticas de produção agrícola. No caso de culturas permanentes deve-se considerar a produtividade média anual ao longo do ciclo completo da cultura. Desta forma, devemos considerar o fato de que a produtividade no primeiro ano de plantio é baixa ou equivalente a zero, aumentando depois de alguns anos e diminuindo quando o ciclo da cultura permanente chega ao

1 CWR - Crop Water Requirement

fim. Para determinar o uso de água pela cultura permanente é necessário calcular a média anual do uso da água durante o seu ciclo completo.

A componente cinza da pegada hídrica do crescimento de uma plantação ou floresta ($PH_{proc,cinza}$, m^3/ton) é calculada multiplicando-se a taxa de aplicação por hectare dos agroquímicos no campo (*TAQ*, kg/ha), pela fração de lixiviação / escoamento (α), dividida pela concentração máxima aceitável (c_{max}, kg/m^3), menos a concentração natural do poluente em questão (c_{nat}, kg/m^3), divididas então pela produtividade da cultura (*Prtv*, ton/ha).

$$PH_{proc,cinza} = \frac{(\alpha \cdot TAQ)\ /(c_{max} - c_{nat})}{Prtv} \qquad \text{[volume/massa]} \qquad (11)$$

Geralmente, os poluentes consistem de fertilizantes (nitrogênio, fósforo e assim por diante), pesticidas e inseticidas. Deve-se considerar somente o 'fluxo residual' para os corpos d'água que geralmente corresponde a uma fração da aplicação total de fertilizantes ou pesticidas no campo. É necessário contabilizar somente o poluente mais crítico que é aquele que gera o maior volume de água após o cálculo acima.

As componentes verde e azul da Demanda Hídrica da Cultura (*DHC*, m^3/ha) são calculadas com base na evapotranspiração diária acumulada (*ET*, mm/dia), durante o seu ciclo completo de desenvolvimento:

$$DHC_{verde} = 10 \cdot \Sigma_{d=1}^{pdc}\ ET_{verde} \qquad \text{[volume/área]} \qquad (12)$$

$$DHC_{azul} = 10 \cdot \Sigma_{d=1}^{pdc}\ ET_{azul} \qquad \text{[volume/área]} \qquad (13)$$

onde ET_{verde} representa a evapotranspiração da água verde e ET_{azul} a evapotranspiração da água azul. O fator 10 visa converter a profundidade da água em milímetros em volumes de água por superfície terrestre, em m^3/ha. O somatório é feito ao longo do período, desde o dia do plantio (d=1) até o dia da colheita (*pdc* refere-se à duração do período de desenvolvimento da cultura em dias). Visto que diversos tipos de cultura podem ter distintos períodos de desenvolvimento este fator pode influenciar significativamente o cálculo da água utilizada pela cultura. Para culturas permanentes (perenes) e florestas de produção, deve-se calcular a evapotranspiração ocorrida durante o ano. Além disso, para avaliar as diferenças na evapotranspiração global de uma plantação ou floresta deve-se estimar a média anual de evapotranspiração durante todo o seu ciclo de vida. Suponha, por exemplo, que uma determinada cultura permanente tem um ciclo de vida de 20 anos, mas produz somente a partir do sexto ano. Neste caso, o uso da água pela cultura ao longo desses 20 anos deve ser dividido pela produtividade total, que equivale a 15 anos de produção. O uso da água 'verde' pela cultura representa o total da água de chuva

evapotranspirado da gleba durante o período de desenvolvimento; o uso da água 'azul', por sua vez, representa o total da água de irrigação evapotranspirada da gleba.

A evapotranspiração de uma gleba também pode ser medida ou estimada através de um modelo baseado em fórmulas empíricas. Medir a evapotranspiração é custoso e incomum. Geralmente, a evapotranspiração é estimada indiretamente por meio de um modelo baseado em dados climáticos, das propriedades do solo e das características da cultura. Há vários caminhos alternativos para modelar a *ET* e o crescimento da cultura. Um dos modelos mais usados é o EPIC (Williams et al., 1989; Williams, 1995), também disponível em formato raster (Liu et al, 2007). Outro modelo é o CROPWAT, desenvolvido pela Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO, 2010b), que é baseado no método descrito em Allen et al (1998). Outro modelo é o AQUACROP, especialmente desenvolvido para estimar o crescimento da plantação e a ET sob condições de déficit hídrico (FAO, 2010e).

O modelo CROPWAT oferece duas opções diferentes para calcular a evapotranspiração: a 'opção da demanda hídrica da cultura' (considerando as condições ideais) e a 'opção de cronograma de irrigação' (incluindo a possibilidade de especificar o fornecimento de água para irrigação ao longo do tempo). Recomendamos utilizar a segunda opção sempre que possível, pois se aplica tanto a condições ideais como não ideais de desenvolvimento das culturas e é mais precisa (já que o modelo de base inclui um balanço hídrico dinâmico do solo). Existe *online* um manual abrangente sobre o uso prático do programa CROPWAT (FAO, 2010b). O Apêndice I mostra como utilizar 'a opção da demanda hídrica da cultura' para estimar a evapotranspiração da água verde e azul sob condições ótimas de água no solo e também a opção de 'cronograma de irrigação', que pode ser aplicada sob quaisquer condições. O Apêndice II apresenta um exemplo prático do cálculo da pegada hídrica do processo de desenvolvimento de uma cultura.

Para se estimar as pegadas hídricas verde, azul e cinza do desenvolvimento de uma cultura é necessária uma grande quantidade de dados (Quadro 3.8). Geralmente, é preferível usar dados locais sobre a área da cultura. Entretanto, pode ser muito complicado obter-se dados sobre um local específico dependendo da finalidade da avaliação. Se o objetivo da avaliação permite uma estimativa inicial é possível trabalhar com base de dados de locais próximos ou médias regionais ou nacionais mais facilmente disponíveis.

Nos cálculos acima ainda não contabilizamos a incorporação das águas verde e azul em uma cultura colhida. É possível calcular esse componente da pegada hídrica simplesmente observando a fração da água da cultura colhida. Tipicamente, no caso das frutas, a fração da água corresponde a 80–90 por cento da massa úmida; no caso das verduras, esta fração está entre 90–95 por cento. A proporção verde / azul da água incorporada na cultura pode ser considerada equivalente à proporção DHC_{verde} / DHC_{azul}. No entanto, adicionar água incorporada à água evapotranspirada acarretará um pequeno aumento no resultado da pegada hídrica final, pois geralmente a água incorporada varia de 0,1% a, no máximo, 1% do total de água evapotranspirada.

Nesta seção, vimos o cálculo da pegada hídrica do desenvolvimento de uma cultura no campo. A pegada hídrica azul calculada aqui se refere somente à evapotranspiração da água utilizada na irrigação da gleba. Ela exclui a evaporação da água de reservatórios artificiais de água superficial construídos para armazenar a água para irrigação e a

evaporação dos canais que transportam a água de irrigação do local de captação para o campo irrigado. O armazenamento e o transporte da água são dois processos que precedem o processo de desenvolvimento da cultura em uma área e têm suas próprias pegadas hídricas (Figura 3.6). As perdas por evaporação nesses dois passos precedentes podem ser significativas e devem ser incluídas quando se deseja calcular a pegada hídrica do produto colhido da cultura de interesse.

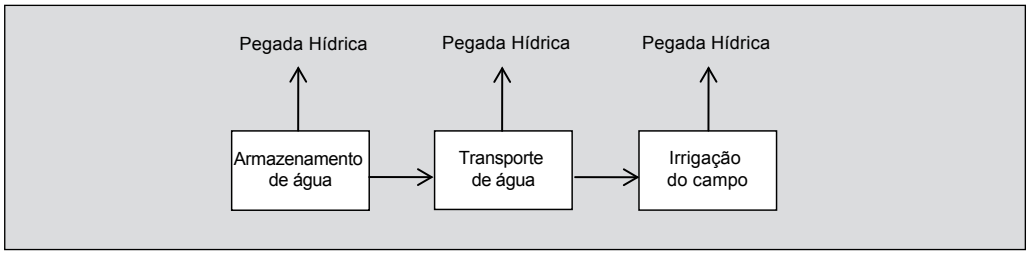


Figura 3.6 *Os processos subsequentes da irrigação: armazenamento e transporte de água, irrigação no campo. Cada passo do processo tem a sua própria pegada hídrica*

Quadro 3.8 *Fontes de dados para o cálculo da pegada hídrica de 'de uma cultura em desenvolvimento'*

- **Dados climáticos:** O cálculo deve ser feito com base em dados climáticos das estações meteorológicas mais representativas e mais próximas da cultura, dentro ou perto da região da produção da cultura em questão. No caso de regiões que envolvam mais de uma estação climática, pode-se fazer o cálculo ponderado dos resultados. A base de dados climáticos CLIMWAT 2.0 (FAO, 2010a) fornece os dados climáticos necessários e no formato requerido pelo modelo CROPWAT 8.0. A base de dados não fornece dados para anos específicos, mas a média de 30 anos. Outra fonte é LocClim 1.1 (FAO, 2005), que fornece estimativas das médias das condições climáticas para locais onde não há informações disponíveis. Há também as bases de dados climáticos em formato raster: valores mensais dos principais parâmetros climáticos com uma resolução espacial de 30 minutos de arco podem ser encontrados no CRU TS-2.1, através do Portal CGIAR-CSI (Mitchell e Jones, 2005). O Centro Nacional de Dados Climáticos dos EUA fornece dados climáticos diários de um grande número de estações em todo o mundo (NCDC, 2009). Além disso, a FAO fornece através do portal GeoNetwork (www.fao.org/geonetwork) precipitações médias de longo prazo e evapotranspiração de referência com uma resolução espacial de 10 minutos de arco (FAO, 2010g).
- **Parâmetros de cultura:** Coeficientes de cultura e os padrões de cultivo (datas de plantio e colheita) são melhores obtidos de dados locais. A variedade da cultura e o melhor período de cultivo para um determinado tipo de plantação dependem em grande parte do clima e de muitos outros fatores como costumes locais, tradições, estrutura social, normas e políticas existentes. Deste modo, os dados mais confiáveis sobre cultura são aqueles fornecidos pelas estações locais de pesquisa agrícola. As bases de dados globais que podem ser utilizadas são: Allen et al (1998, Tabelas 11–12), FAO (2010b), USDA (1994). O Sistema de Informação Global e Alerta Precoce da FAO (GIEWS) fornece calendários *online* para as culturas mais importantes dos países em desenvolvimento. É possível acessar os arquivos compactados de imagens dos calendários de culturas para cada continente diretamente na *web* (FAO, 2010f).

- **Mapas de culturas:** A área e a produtividade agrícola de 175 culturas estão disponíveis em uma grade com resolução de 5 minutos de arco e podem ser encontradas no *site* do grupo de pesquisa sobre o Uso da Terra e as Mudanças Ambientais Globais do Departamento de Geografia da Universidade de McGill (Monfreda et al, 2008) (http://www.geog.mcgill.ca).
- **Produtividades de culturas:** Dados de produtividade são melhores se obtidos em nível local, no nível de resolução espacial necessária. É importante saber a metodologia de como as produtividades são medidas (por exemplo, qual parte da cultura, peso seco ou úmido). A FAO (2010d) disponibiliza uma base de dados global de produtividades.
- **Mapas de solos:** O ISRIC-WISE fornece um banco de dados globais para as propriedades derivadas do solo, com resoluções de 5 e 30 minutos de arco (Batjes, 2006). Além disso, o portal GeoNetwork da FAO fornece os dados disponíveis sobre a umidade máxima do solo, com uma resolução de 5 minutos de arco (FAO, 2010h). Dados referentes aos solos são necessários quando se faz a 'opção de irrigação' no modelo CROPWAT; se não houver nenhum dado disponível sobre o solo é aconselhável adotar o 'solo médio' como padrão.
- **Mapas de irrigação:** O *Global Map of Irrigation Areas* (GMIA), versão 4.0.1 (Siebert et al., 2007), define áreas equipadas para irrigação com uma resolução de 5 minutos de arco. Os mapas de irrigação para 26 principais culturas, com resoluções de 5 e 30 minutos de arco, podem ser obtidos através do *site* da Universidade de Frankfurt (Portmann et al., 2008, 2010). Estes dados fornecem ainda as áreas de lavouras de sequeiro para essas mesmas 26 culturas.
- **Taxas de aplicação de fertilizantes:** Dados locais são preferíveis. Uma base de dados global útil é FertiStat (FAO, 2010c). A Associação Internacional de Fertilizantes (IFA, 2009) fornece o consumo anual de fertilizante por país. Heffer (2009) fornece o uso de fertilizante por cultura, para os principais tipos de cultura e países produtores.
- **Taxas de aplicação de pesticidas:** Dados locais são preferíveis. O Serviço Nacional de Estatísticas Agrícolas (NASS, 2009) fornece uma base de dados *online* para os EUA sobre o uso de agroquímicos por cultura. A Fundação CropLife (2006) fornece uma base de dados sobre o uso de pesticidas nos EUA. O Eurostat (2007) fornece dados para a Europa.
- **Fração de lixiviação-escoamento:** Não há base de dados disponível. Neste caso, recomenda-se trabalhar com dados experimentais obtidos em estudos de campo e fazer as suposições necessárias. Pode-se supor uma taxa de 10 por cento de lixiviação para fertilizantes nitrogenados, de acordo com Chapagain et al (2006b).
- **Padrões de qualidade da água em seu estado natural:** Preferencialmente utilize padrões locais regulamentados de acordo com a legislação. Esta informação encontra-se disponível para algumas partes do mundo como a União Europeia (UE, 2008), os EUA (EPA, 2010b), Canadá (Conselho Canadense de Ministros do Meio Ambiente, 2010), Austrália/Nova Zelândia (ANZECC e ARMCANZ, 2000), China (Ministério Chinês de Proteção Ambiental, 2002), Japão (Ministério Japonês do Meio Ambiente, 2010), Áustria (Ministério Federal da Agricultura da Áustria, Área Florestal, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, 2010), Brasil (CONAMA, 2005), África do Sul (Departamento de Assuntos Hídricos e Florestais da África do Sul, 1996), Alemanha (LAWA-AO, 2007) e Reino Unido RU (UKTAG, 2008). Uma compilação pode ser encontrada em MacDonald et al (2000). Se não há padrões disponíveis para a qualidade da água em seu estado natural e o corpo d'água apresentar condições adequadas para consumo, podem-se aplicar os padrões para água potável. Veja, por exemplo, UE (2000) e EUA (2005).

- **Concentrações naturais em corpos d'água receptores:** Em rios mais ou menos prístinos, pode-se considerar que as concentrações naturais são iguais às concentrações reais e, portanto, basear-se em médias diárias ou mensais de longo prazo fornecidas por uma estação de medição nas proximidades. No caso de rios alterados contar-se-á com registros históricos ou resultados de modelos. Há bons estudos disponíveis para algumas partes do mundo; para os EUA, por exemplo, há os de Clark et al (2000) e os de Smith et al (2003); para a Áustria, há o do Ministério Austríaco Federal da Agricultura, Áreas Florestais, Meio Ambiente e Recursos Hídricos (2010); para a Alemanha, o da LAWA-AO (2007). Como referência, a UNEP (2009) disponibiliza uma base de dados global de concentrações reais (não naturais). Quando não houver nenhuma informação disponível assuma a concentração natural de acordo com a melhor estimativa ou sendo igual a zero.
- **A concentração real da água coletada:** A UNEP (2009) disponibiliza uma base de dados global sobre as concentrações reais.

3.4 A pegada hídrica de um produto

3.4.1 Definição

A pegada hídrica de um produto é definida como o volume total de água doce que é utilizado direta ou indiretamente em seu processo produtivo. Sua estimativa é feita com base no consumo e na poluição da água em todas as etapas da cadeia produtiva. O cálculo é semelhante para todos os tipos de produtos, sejam eles derivados dos setores agrícola, industrial ou de serviços. A pegada hídrica de um produto é subdividida nas componentes verde, azul e cinza. Um termo alternativo para a pegada hídrica de um produto é 'conteúdo de água virtual', mas o significado deste último é mais restrito (Quadro 3.9).

Quadro 3.9 *Terminologia: pegada hídrica, conteúdo de água virtual, água incorporada*

A pegada hídrica de um produto é semelhante ao que se chama em outras publicações de 'conteúdo de água virtual' do produto, água embutida, incorporada, exógena ou oculta do produto (Hoekstra e Chapagain, 2008). Os termos conteúdo de água virtual e água incorporada, no entanto, referem-se ao volume de água incorporado no produto em si, enquanto o termo 'pegada hídrica' se refere não somente ao volume, mas também ao tipo de água que foi utilizada (verde, azul, cinza), bem como quando e onde. Portanto, a pegada hídrica de um produto é um indicador multidimensional, enquanto o 'conteúdo de água virtual' ou a 'água incorporada' refere-se somente ao volume. Recomendamos utilizar o termo 'pegada hídrica' devido ao seu escopo mais amplo. O volume é somente um aspecto do uso da água; o local, o momento e o tipo de água utilizada também são importantes. Além disso, o termo 'pegada hídrica' pode também ser utilizado em um contexto onde falamos sobre a pegada hídrica de um consumidor ou produtor. Seria estranho falar sobre o conteúdo de água virtual de um consumidor ou produtor. Usamos o termo 'água virtual' no contexto internacional (ou inter-regional) de fluxos de água virtual. Se um país (ou região) exporta/importa um produto, ele está exportando/importando água de modo virtual. Neste contexto, pode-se falar sobre a exportação ou importação da água virtual ou, de forma mais geral, sobre os fluxos ou o comércio de água virtual.

No caso dos produtos agrícolas a pegada hídrica é geralmente expressa em termos de m^3/ton ou litros/kg. Em muitos casos, quando os produtos agrícolas podem ser medidos em unidades a pegada hídrica também pode ser expressa como volume de água por unidade. No caso de produtos industriais a pegada hídrica pode ser expressa em m^3/$ ou pelo volume de água por unidade. Outras formas de expressar a pegada hídrica de um produto são, por exemplo, pelo volume de água/kcal (no caso de dietas alimentares) ou volume de água/joule (no caso da eletricidade ou dos combustíveis).

3.4.2 Esquematização do sistema de produção em passos do processo

Para estimar a pegada hídrica de um produto primeiramente é preciso entender a forma como ele é produzido. Por esta razão é preciso identificar o 'sistema de produção'. Um sistema de produção consiste em 'etapas de processos' sequenciais. Um exemplo (simplificado) do sistema de produção de uma camisa de algodão é: cultivo do algodão, colheita, descaroçamento, cardagem, tecelagem, branqueamento, tingimento, estamparia, acabamento. Considerando que muitos produtos necessitam de diversos insumos acontece de múltiplas etapas de processos precederem a etapa seguinte. Neste caso não teremos uma cadeia linear de etapas do processo, mas sim uma 'árvore de produto'. Um exemplo (simplificado) de uma árvore de produto é o seguinte: a produção de ração e todos os outros tipos de insumos necessários em uma fazenda de pecuária intensiva, a criação de animais e finalmente a produção da carne. Como os sistemas de produção frequentemente produzem mais de um produto final – por exemplo, as vacas podem fornecer o leite, a carne e o couro – mesmo a metáfora da árvore de produto é insuficiente. Na realidade, os sistemas de produção consistem de redes complexas de processos interligados até mesmo processos circulares.

Para estimar a pegada hídrica de um produto é preciso esquematizar o sistema de produção em um número limitado de etapas interligadas do processo. Além disso, se desejarmos ir além de uma análise superficial baseada em médias globais, será necessário especificar as etapas no tempo e no espaço, o que significa rastrear a origem (dos insumos) do produto. No exemplo da camisa de algodão acima o desenvolvimento do algodoeiro pode ocorrer em um lugar (China), a fabricação da camisa pode acontecer em outro lugar (Malásia) e o consumo do produto em outro lugar ainda (Alemanha). As circunstâncias da produção e as características do processo apresentarão variações de acordo com cada lugar; assim, o local da produção influenciará o tamanho e a cor da pegada hídrica. Além disso, poder-se-á mapear geograficamente a pegada hídrica de um produto final, ou seja, mais uma razão para manter a rastreabilidade dos locais.

A esquematização de um sistema de produção em etapas distintas do processo envolve, inevitavelmente, suposições e simplificações. O problema de truncamento mencionado no Capítulo 2 é particularmente relevante. Teoricamente, como muitos sistemas de produção contêm componentes circulares seria possível continuar rastreando os insumos infinitamente através da rede de passos interligados do processo. Na prática será necessário interromper a análise nos pontos em que o trabalho adicional não agregará mais informações relevantes para o objetivo da análise.

Diagramas de sistemas de produção de produtos agrícolas podem ser encontrados, por exemplo, em FAO (2003) e Chapagain e Hoekstra (2004). No caso de produtos industriais geralmente é possível construir com certa facilidade um diagrama de sistema de produção baseado em fontes públicas de dados. O melhor, é claro, é buscar informações sobre quais etapas do processo são consideradas na cadeia produtiva do item em questão. Para isso, é necessário rastrear todos os ingredientes do produto.

3.4.3. O cálculo da pegada hídrica de um produto

A pegada hídrica de um produto pode ser calculada de duas formas alternativas: através da abordagem da soma das cadeias e do método sequencial cumulativo. A primeira somente pode ser aplicada em casos específicos; a última é mais genérica.

A abordagem da soma das cadeias

Esta abordagem é mais simples do que a que será discutida a seguir, mas somente pode ser aplicada nos casos em que um sistema produtivo produz um único produto final (Figura 3.7). Neste caso em particular as pegadas hídricas que podem ser associadas aos diversos passos do processo no sistema produtivo poderão ser totalmente atribuídas ao produto resultante.

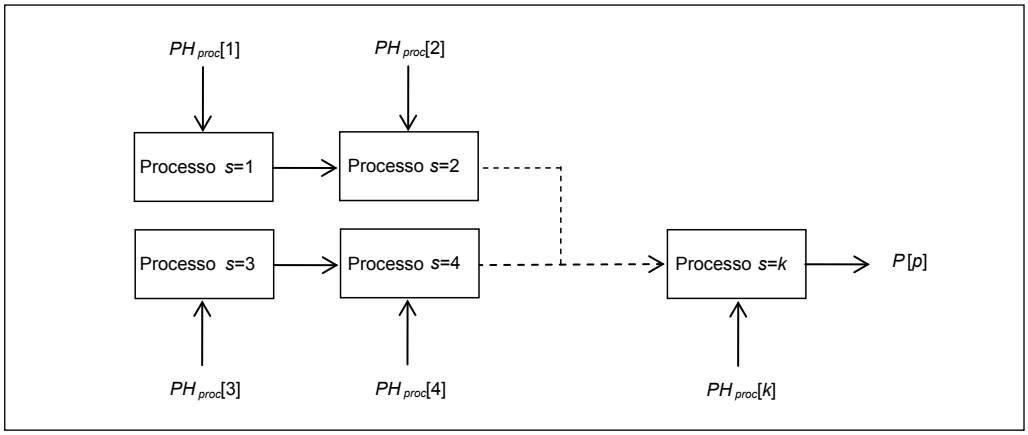


Figura 3.7 *Esquematização do sistema de produção do produto 'p' em 'k' passos de processo. Alguns passos ocorrem em série, outros em paralelo. A pegada hídrica do produto final 'p' é calculada como a soma das pegadas hídricas dos processos que compõem o sistema de produção. Nota: este esquema simplificado pressupõe que 'p' é o único produto final proveniente do sistema de produção*

Neste sistema simples de produção a pegada hídrica do produto "p" (volume/massa) é igual à soma das pegadas hídricas relevantes do processo divididas pela quantidade produzida do produto "p":

$$PH_{proc\,[p]} = \frac{\sum_{s=1}^{n} PH_{proc}\,[s]}{P[p]} \qquad \text{[volume/massa]} \qquad (14)$$

onde $PH_{proc}[s]$ é a pegada hídrica do passo "s" do processo (volume/tempo) e $P[p]$ a quantidade produzida do produto "p" (massa/tempo). Na prática, os sistemas de produção com um único produto final raramente existem, assim, uma forma mais genérica de cálculo é necessária, de modo que possa distribuir a água utilizada em todo o sistema de produção para os diversos produtos finais resultantes daquele sistema sem que haja dupla contabilidade.

O método sequencial cumulativo

Esta abordagem é uma forma genérica de calcular a pegada hídrica de um produto com base nas pegadas hídricas dos insumos que foram necessários na última etapa do processo para produzir aquele produto e a pegada hídrica do processo daquele passo do processamento. Suponha que haja um determinado número de insumos usados na produção de um único produto final. Neste caso, podemos obter a pegada hídrica do produto final através da simples soma das pegadas hídricas dos insumos, adicionando a pegada hídrica do processo. Suponha outro caso onde haja um único insumo e mais de um produto final. Neste caso, é necessário distribuir a pegada hídrica do insumo entre os seus produtos separadamente. Isto pode ser feito proporcionalmente ao valor dos produtos finais. Pode também ser feito proporcionalmente ao peso dos produtos, mas será menos significativo. Finalmente, considere o caso mais genérico (Quadro 3.8). Queremos calcular a pegada hídrica de um produto "p" que está sendo elaborado a partir de "y" insumos. Os insumos são numerados de i=1 a y. Suponha que o processamento dos "y" insumos resulte em "z" produtos finais. Nós numeramos os produtos finais de p=1 a z.

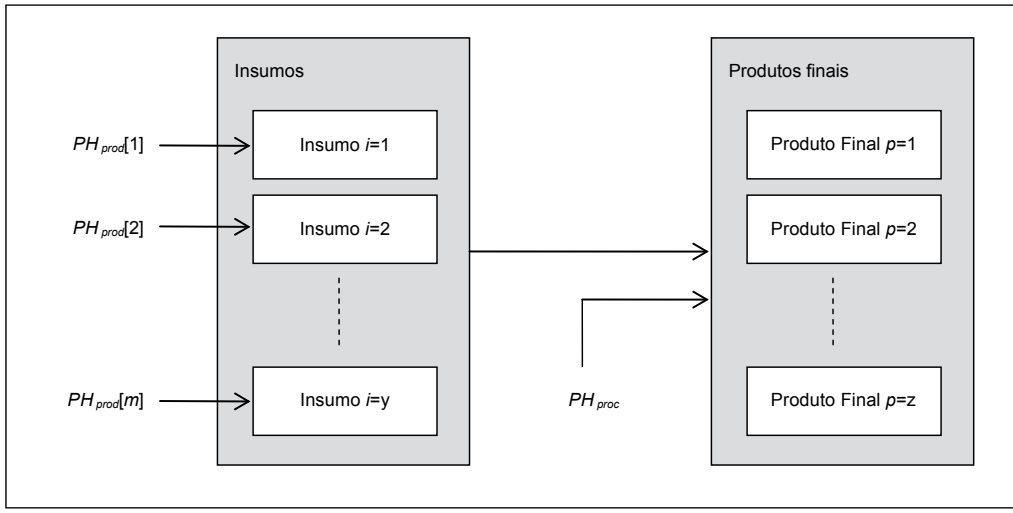


Figura 3.8 *Esquematização do último passo do processo no sistema de produção do produto 'p'. A pegada hídrica do produto final 'p' é calculada com base nas pegadas hídricas dos insumos e na pegada hídrica do processo quando os insumos geram os produtos finais*

Se há algum uso de água envolvido durante o processamento, a pegada hídrica do processo é adicionada às pegadas hídricas dos insumos antes que o total seja distribuído pelos diversos produtos finais. A pegada hídrica do produto resultante "p" é calculada da seguinte forma:

$$PH_{prod}\,[p] = (PH_{proc}\,[p] + \Sigma_{i=1}^{y}\ \frac{PH_{prod}\,[i]}{f_p\,[p,i]}) \cdot f_v[p] \qquad \text{[volume/massa]} \tag{15}$$

onde $PH_{prod}[p]$ é a pegada hídrica (volume/massa) do produto final "p", $PH_{prod}[i]$ é a pegada hídrica do insumo "i" e $PH_{proc}[p]$ é a pegada hídrica do processamento que transforma os "y" insumos em "z" produtos de saída expressos com base no uso da água por unidade de produto processado "p" (volume/massa). O parâmetro $fp[p,i]$ é a chamada 'fração do produto' e o parâmetro $fv[p]$ é uma 'fração de valor'. Ambas serão descritas abaixo. Na equação (15), certifique-se de que a pegada hídrica do processo seja considerada em termos de volume de água por unidade de produto *processado*; quando a pegada hídrica do processo é determinada por unidade de um *insumo* específico o volume fornecido deve ser dividido pela fração do produto daquele insumo.

A fração do produto de um produto final "p" que é processado a partir de um insumo "i" ($fp[p,i]$, massa/massa) é definida como a quantidade de produto final ($peso[p]$, massa), obtida de acordo com a quantidade de insumo ($peso[i]$, massa):

$$f_p\,[p,i] = \frac{peso\ [p]}{peso\ \ [i]} \qquad \text{[-]} \tag{16}$$

A fração de valor de um produto final "p" ($fv[p]$, unidade monetária/unidade monetária) é definida através da razão entre o valor de mercado desse produto e o valor de mercado agregado de todos os produtos finais (p=1 a z) obtidos dos insumos:

$$f_v[p] = \frac{preço[p] \cdot peso\,[p]}{\sum_{p=1}^{z}(preço[p] \cdot peso\,[p])} \qquad \text{[-]} \tag{17}$$

Onde: $preço\ [p]$ se refere ao preço do produto p (unidade monetária/massa). O denominador é o somatório dos "z" produtos finais (p=1 a z) que resultaram dos insumos. Observe que adotamos o termo 'preço' aqui como um indicador de valor econômico de um produto o que não é sempre o caso como, por exemplo, quando não há mercado para um produto ou quando o mercado é distorcido. É claro que é possível obter o melhor valor econômico real.

Observe que, em um caso simples, onde processamos somente um insumo para a produção de um produto final, o cálculo da pegada hídrica do produto torna-se bastante simples:

$$PH_{prod}\,[p] = PH_{proc}\,[p] + \frac{PH_{prod}\,[i]}{f_p\,[p,i]} \qquad \text{[volume/massa]} \tag{18}$$

Para calcular a pegada hídrica do produto final de um sistema de produção é recomendável começar pelo cálculo das pegadas hídricas dos recursos mais básicos (na base da cadeia produtiva); em seguida calcular, passo a passo, as pegadas hídricas dos produtos intermediários até que seja possível calcular a pegada hídrica do produto final. O primeiro passo é sempre obter as pegadas hídricas dos insumos e da água utilizada para processá-los na elaboração do produto final. O total desses componentes é então distribuído entre os vários produtos finais com base em suas frações de produto e de valor.

Um exemplo prático do cálculo da pegada hídrica de um produto de origem agrícola é apresentado no Anexo III.

A melhor maneira de obter as frações de produtos é através da literatura disponível para um dado processo produtivo. Geralmente, as frações de produtos estão circunscritas a um reduzido intervalo, mas a quantidade de produto final por unidade de insumo depende realmente do tipo de processo utilizado. Neste caso é importante saber qual tipo de processo está sendo aplicado. Para produtos agrícolas e pecuários as frações de produtos podem ser encontradas em FAO (2003) e em Chapagain e Hoekstra (2004, vol. 2). As frações de valores flutuam ao longo dos anos dependendo da variação dos preços. A fim de evitar que os resultados encontrados no cálculo da pegada hídrica sejam fortemente afetados pela flutuação dos preços, recomendamos estimar as frações de valores com base no preço médio de um período de pelo menos cinco anos. As frações de valores para uma escala maior de produtos agrícolas e pecuários podem ser encontradas em Chapagain e Hoekstra (2004). Recomendamos, no entanto, procurar prioritariamente dados que estejam relacionados ao caso de interesse antes de se basear nos valores padrão encontrados na literatura. A pegada hídrica do processo em uma determinada etapa pode variar dependendo do tipo de método aplicado (por exemplo, moagem úmida ou seca, limpeza úmida ou seca, sistema de refrigeração fechada ou aberta, com evaporação de água). Para vários processos é possível encontrar na literatura algumas estimativas sobre retiradas de água, mas não sobre o uso consuntivo da água. Dados gerais sobre a poluição por processo também são escassos e podem variar muito de um lugar para outro. Consequentemente, basear-se em estimativas gerais sobre poluição seria impreciso. É necessário buscar os dados na fonte, isto é, junto aos produtores e fabricantes.

3.5 A pegada hídrica de um consumidor ou grupo de consumidores

3.5.1 Definição

A pegada hídrica de um consumidor é definida pelo volume total de água doce consumida e poluída na produção de bens e serviços por ele utilizados. A pegada hídrica de um grupo de consumidores é igual à soma das pegadas hídricas de cada consumidor.

3.5.2 O cálculo

A pegada hídrica de um consumidor (PH_{cons}) é calculada através da soma da pegada hídrica direta do indivíduo e sua pegada hídrica indireta:

$$PH_{cons} = PH_{cons,dir} + PH_{cons,indir} \quad \text{[volume/tempo]} \tag{19}$$

A pegada hídrica direta se refere ao consumo e à poluição relacionados ao uso da água em casa ou no jardim. A pegada hídrica indireta se refere ao consumo e à poluição da água que podem estar associados à produção dos bens e serviços utilizados pelo consumidor. Ela se refere à água que foi usada para produzir, por exemplo, roupas, papel, energia e bens industriais de consumo. O uso indireto da água é calculado multiplicando todos os produtos consumidos por suas respectivas pegadas hídricas de produto:

$$PH_{cons,indir} = \sum_p (C[p] \cdot PH^*_{prod}[p]) \quad \text{[volume/tempo]} \tag{20}$$

Onde $C[p]$ é o consumo do produto "p" (unidades de produto/tempo) e $PH^*_{prod}[p]$ representa a pegada hídrica desse produto (volume de água/unidade de produto). O conjunto de produtos considerados se refere ao somatório completo de bens e serviços utilizados pelo consumidor final. A pegada hídrica de um produto é definida e calculada conforme descrito na seção anterior.

Geralmente, o volume total de "p" consumido terá sua origem em diversos lugares "x". A pegada hídrica média de um produto "p" consumido é calculada conforme segue:

$$PH^*_{prod}[p] = \frac{\sum_x (C[x,p] \cdot PH_{prod}[x,p])}{\sum_x C[x,p]} \quad \text{[volume/unidade de produto]} \tag{21}$$

Onde $C[x,p]$ é o consumo do produto "p" da origem "x" (unidades de produto/tempo) e $PH_{prod}[x,p]$ é a pegada hídrica de um produto "p" da origem "x" (volume de água/unidade de produto). Dependendo do nível de detalhe desejado na análise é possível rastrear a origem dos produtos consumidos com maior ou menor precisão. Se não for possível ou não houver interesse de rastrear a origem dos produtos consumidos deve-se confiar nas estimativas médias globais ou nacionais das pegadas hídricas dos produtos consumidos. Se, no entanto, for interessante rastrear a origem dos produtos, é possível estimar as pegadas hídricas do produto com um nível elevado de detalhamento espacial (ver níveis alternativos da explicação espaço-tempo no cálculo da pegada hídrica, como descrito no Capítulo 2). Preferencialmente, o consumidor sabe o quanto ele consome de cada produto oriundo de diferentes fornecedores. Se o consumidor não souber pode-se assumir que a variação equivale à variação na origem conforme a disponibilidade de

fornecedores no mercado nacional para aquele produto. O valor de $PH^*_{prod}[p]$ pode ser então calculado com base na fórmula apresentada na Seção 3.7.3.

As pegadas hídricas de bens e serviços privados finais são atribuídas exclusivamente ao consumidor do bem privado. As pegadas hídricas de bens e serviços públicos ou compartilhados são atribuídas aos consumidores baseando-se na fração que cada consumidor utiliza individualmente.

3.6 A pegada hídrica dentro de uma área delimitada geograficamente

3.6.1 Definição

A pegada hídrica dentro de uma área geográfica é definida como sendo o consumo total de água doce e de poluição dentro dos limites espaciais da área. É crucial definir claramente os limites da área considerada. A área pode ser uma área de drenagem, uma bacia hidrográfica, um estado, um país ou qualquer outra unidade espacial administrativa ou hidrológica.

3.6.2 O cálculo

A pegada hídrica dentro de uma área delimitada geograficamente ($PH_{área}$) é calculada através da soma das pegadas hídricas de processo de todos os processos que utilizam água na área:

$$PH_{área} = \sum_q PH_{proc}[q] \qquad \text{[volume/tempo]} \qquad (22)$$

Onde $PH_{proc}[q]$ se refere à pegada hídrica de um processo "q" dentro da área delimitada geograficamente. A equação soma todos os processos de consumo de água ou poluição hídrica ocorridos nessa área.

A exportação de água "real" para fora de certa área, como no caso de uma transposição entre bacias, será calculada como uma pegada hídrica de processo na área de onde a água é exportada.

Da perspectiva da proteção dos recursos hídricos dentro de uma determinada área – principalmente quando a área apresenta escassez de água – é interessante saber qual a quantidade de água utilizada na área para a produção de produtos de exportação e a quantidade de água importada na forma virtual (na forma de produtos de uso intensivo de água), para que não seja necessário produzi-los dentro da área. Em outras palavras é interessante conhecer o 'balanço de água virtual' de uma área. O balanço de água virtual de uma área delimitada geograficamente por um determinado período de tempo é definido como a importação líquida de água virtual durante este período ($V_{i,líq}$), que é igual à importação bruta de água virtual (V_i), menos a exportação bruta (V_e):

$$V_{i,líq} = V_i - V_e \qquad \text{[volume/tempo]} \qquad (23)$$

Um balanço positivo de água virtual implica em um fluxo líquido de entrada de água virtual proveniente de outras áreas. Um balanço negativo significa um fluxo líquido de saída de água virtual. A importação bruta de água virtual é interessante porque, ao se importar água virtual, há economia de água dentro da área em questão. A exportação bruta de água virtual é interessante no sentido em que ela se refere a uma pegada hídrica na área onde ocorre o consumo por parte das pessoas que vivem fora desta área. A importação e a exportação da água virtual podem ser calculadas com base na mesma abordagem, conforme discutido especificamente para o caso de países, na Seção 3.7.3.

3.7 A contabilidade da pegada hídrica nacional

3.7.1 Esquema de contabilidade da pegada hídrica nacional

Os resultados totais da pegada hídrica nacional são obtidos através da combinação dos resultados referentes à 'pegada hídrica do consumo nacional' (resultados referentes ao consumidor, conforme apresentado na Seção 3.5) com os resultados da 'pegada hídrica dentro de um país' (resultados referentes à área, conforme apresentado na Seção 3.6), em um esquema abrangente. A Figura 3.9 mostra uma representação visual do esquema de cálculo, segundo Hoekstra e Chapagain (2008).

Os cálculos tradicionais relativos ao consumo da água em território nacional se referem apenas à captação de água dentro de um país. Eles não distinguem o uso da água na elaboração de produtos para consumo doméstico daquele necessário para produzir produtos de exportação. Eles também excluem dados sobre o uso da água fora do país que permitem o consumo nacional. Além disso, eles incluem somente o uso da água azul, excluindo as águas verde e cinza. Visando promover uma análise mais ampla e oferecer suporte para a tomada de decisões é necessário ampliar os cálculos dos usos tradicionais da água em uma nação.

A pegada hídrica do consumidor de um país ($PH_{cons,país}$) tem dois componentes: a pegada hídrica interna e a pegada hídrica externa.

$$PH_{cons,país} = PH_{cons,país,int} + PH_{cons,país,ext} \qquad \text{[volume/tempo]} \qquad (24)$$

A pegada hídrica interna do consumo nacional ($PH_{cons,país,int}$) é definida como o volume de recursos hídricos de uso doméstico utilizado para produzir bens e serviços consumidos pela população nacional. Ela é a soma da pegada hídrica dentro de um país ($PH_{área,país}$) menos o volume da exportação bruta da água virtual para outros países, na medida em que ela se relaciona com a exportação de produtos elaborados com recursos hídricos de uso doméstico ($V_{e,d}$):

$$PH_{cons,país,int} = PH_{área,país} - V_{e,d} \qquad \text{[volume/tempo]} \qquad (25)$$

A pegada hídrica externa do consumo nacional ($PH_{cons,nat,ext}$) é definida como o volume de recursos hídricos usados em outros países para a produção de bens e serviços consumidos pela população do país em questão. É igual à importação da água virtual no país (V_i) menos o volume de água virtual exportado para outros países como resultado da reexportação de produtos importados ($V_{e,r}$):

$$PH_{cons,país,ext} = V_i - V_{e,r} \qquad \text{[volume/tempo]} \qquad (26)$$

A exportação da água virtual (V_e) de um país consiste na exportação de água de origem doméstica ($V_{e,d}$) e reexportação da água de origem estrangeira ($V_{e,r}$):

$$V_e = V_{e,d} + V_{e,r} \qquad \text{[volume/tempo]} \qquad (27)$$

A importação de água virtual para um país será parcialmente consumida constituindo, assim, a pegada hídrica externa do consumo nacional ($PH_{cons,país,ext}$) e parcialmente será reexportada ($V_{e,r}$):

$$V_i = PH_{cons,país,ext} + V_{e,r} \qquad \text{[volume/tempo]} \qquad (28)$$

A soma de V_i e $PH_{área,país}$ é igual à soma de V_e e $PH_{cons,país}$. Essa soma é chamada de balanço de água virtual (V_b) de um país.

$$V_b = V_i + PH_{área,país} = V_e + PH_{cons,país} \qquad \text{[volume/tempo]} \qquad (29)$$

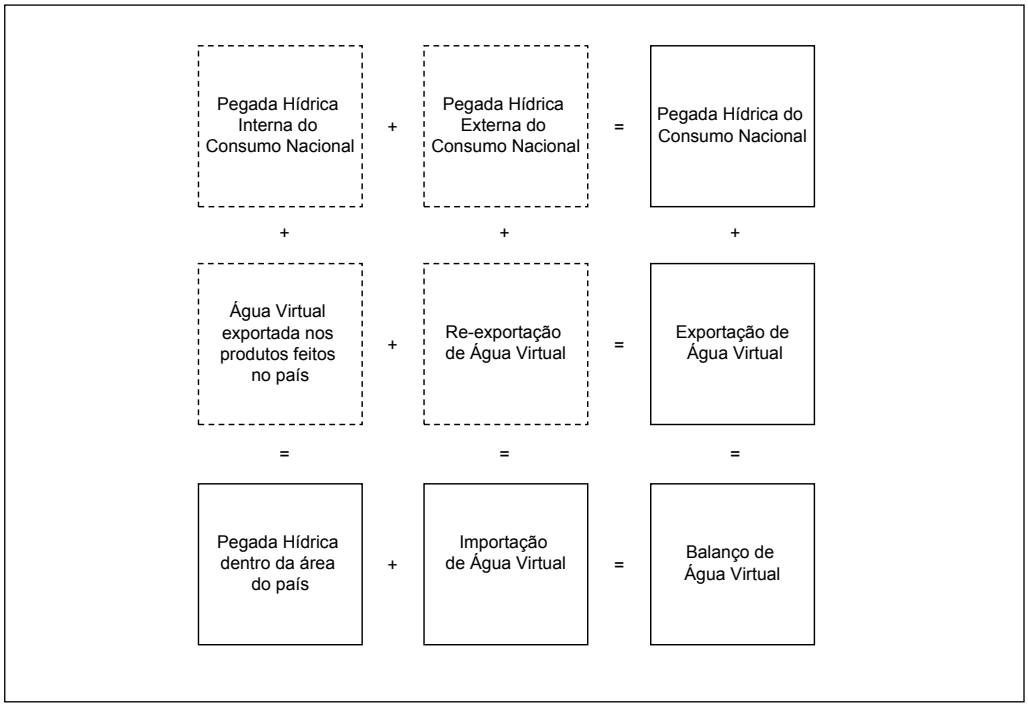


Figura 3.9 *Esquema de cálculo da pegada hídrica nacional. O esquema de cálculo apresenta os diversos balanços da pegada hídrica relacionados ao consumo nacional ($PH_{cons,país}$), a pegada hídrica no território do país ($PH_{área,país}$), a exportação total de água virtual (V_e) e a importação total de água virtual (V_i)*

3.7.2 O cálculo da pegada hídrica dentro de um país

A pegada hídrica dentro de um país ($PH_{área,país}$, volume/tempo) é definida como o volume total de água doce consumida ou poluída dentro do território de um país. Ela pode ser calculada seguindo o método descrito na Seção 3.6:

$$PH_{área,país} = \Sigma_q \; PH_{proc}\,[q] \qquad \text{[volume/tempo]} \tag{30}$$

Onde: $PH_{proc}[q]$ se refere à pegada hídrica do processo "q" dentro do país que consome ou polui a água. A equação soma todos os processos de consumo de água ou poluição hídrica ocorridos no país. Aqui, as pegadas hídricas do processo são expressas em volume/tempo.

3.7.3 O cálculo da pegada hídrica do consumo nacional

A pegada hídrica do consumo nacional ($PH_{cons,país}$) pode ser calculada através de duas abordagens distintas: a abordagem 'de cima para baixo' (*top-down*) e a abordagem 'de baixo para cima' (*bottom-up*).

Abordagem 'de cima para baixo'

Na abordagem 'de cima para baixo', a pegada hídrica do consumo nacional ($PH_{cons,país}$, volume/tempo) é calculada como a pegada hídrica dentro do país ($PH_{área,país}$), mais a importação da água virtual (V_i), menos a exportação da água virtual (V_e):

$$PH_{cons,país} = PH_{área,país} + V_i - V_e \qquad \text{[volume/tempo]} \tag{31}$$

A importação líquida de água virtual é calculada da seguinte forma:

$$V_i = \Sigma_{n_e} \Sigma_p \, (T_i[n_e, p] \cdot PH_{prod}[n_e, p]) \quad \text{[volume/tempo]} \tag{32}$$

Onde: $T_i[n_e,p]$ representa a quantidade importada do produto "p" do país exportador n_e (unidades de produto/tempo) e $PH_{prod}[n_e,p]$ a pegada hídrica do produto "p" do país exportador n_e (volume/unidade de produto). Se não houver mais detalhes disponíveis pode-se supor que o produto é elaborado no país exportador. Neste caso pode-se adotar a média da pegada hídrica do produto como do país exportador. Se a origem dentro do país exportador for conhecida é possível adotar a pegada hídrica do produto específica do local. Quando um produto é importado de um país que não o produz e quando não há mais informações sobre a sua real origem é possível adotar a pegada hídrica média global do produto para aquele fluxo de importação. Idealmente, para a importação de cada produto pode-se adotar a pegada hídrica do produto medida ao longo da sua cadeia produtiva real, mas, na prática, isso só pode ser viável analisando caso a caso (conforme apresentado por Chapagain e Orr (2008) em um estudo sobre a pegada hídrica do Reino Unido), mas não pode ser generalizado para todas as importações realizadas por um país. Obviamente é preciso especificar as suposições utilizadas a esse respeito.

A exportação bruta da água virtual é calculada conforme segue:

$$V_e = \Sigma_p T_e[p] \cdot PH^*_{prod}[p] \qquad \text{[volume/tempo]} \tag{33}$$

em que $T_e[p]$ representa a quantidade do produto "p" exportado de um país (unidades de produto/tempo) e $PH^*_{prod}[p]$ a pegada hídrica média do produto exportado "p" (volume/unidade de produto). Esta última é estimada da seguinte forma:

$$PH^*_{prod}[p] = \frac{P[p] \cdot PH_{prod}[p] + \sum_{n_e}(T_i[n_e, p] \cdot PH_{prod}[n_e, p])}{P[p] + \sum_{n_e} T_i[n_e, p]}$$

$$\text{[volume/unidade de produto]} \tag{34}$$

em que $P[p]$ representa a quantidade produzida do produto "p" no país, $T_i[n_e,p]$ a quantidade importada do produto "p" pelo país exportador ne, $PH_{prod}[p]$ a pegada hídrica do produto "p" quando produzido no país em questão e $PH_{prod}[n_e,p]$ a pegada hídrica do produto "p" no país exportador n_e. Supomos aqui que a exportação é originária da produção doméstica e a importação é proporcional aos seus volumes relativos.

Abordagem 'de baixo para cima'

A abordagem 'de baixo para cima' é baseada no método de cálculo da pegada hídrica de um grupo de consumidores (Seção 3.5). O grupo de consumidores consiste nos habitantes de um país. A pegada hídrica do consumo nacional é calculada através da soma das pegadas hídricas diretas e indiretas dos consumidores dentro de um país:

$$PH_{cons,país} = PH_{cons,país,dir} + PH_{cons,país,indir} \quad \text{[volume/tempo]} \tag{35}$$

A pegada hídrica direta se refere ao consumo e à poluição da água decorrentes do seu uso por parte dos consumidores em casa ou no jardim. A pegada hídrica indireta dos consumidores se refere ao uso da água por terceiros para produzir os bens e serviços de seu consumo. Refere-se, por exemplo, à água que foi utilizada para produzir alimentos, roupas, papel, energia e bens industriais de consumo. A pegada hídrica indireta é calculada multiplicando todos os produtos consumidos pelos habitantes de um país pelas respectivas pegadas hídricas dos produtos:

$$PH_{cons,país,indir} = \Sigma_p \ (C[p] \cdot PH^*_{prod}\,[p]) \quad \text{[volume/tempo]} \tag{36}$$

Onde: $C[p]$ é o consumo do produto "p" pelos consumidores dentro de um país (unidades de produto/tempo) e $PH^*_{prod}[p]$ a pegada hídrica desse produto (volume/unidade de produto). O conjunto de produtos considerados se refere à totalidade de bens e serviços do consumidor final. Geralmente, parte do volume de "p" consumido em um país será originada no próprio país e outra parte será proveniente de outros países. A pegada hídrica média de um produto "p" consumido em um país é calculada com base na mesma suposição adotada na abordagem 'de cima para baixo':

$$PH^*_{prod}\,[p] = \frac{P[p] \cdot PH_{prod}\,[p] + \sum_{n_e}(T_i[n_e,p] \cdot PH_{prod}\,[n_e,p])}{P[p] + \sum_{n_e} T_i[n_e,p]}$$

$$\text{[volume/unidade de produto]} \tag{37}$$

A suposição é que o consumo é oriundo da produção doméstica e a importação é proporcional aos seus volumes relativos.

A abordagem 'de baixo para cima' versus a 'de cima para baixo'

Teoricamente, os cálculos dos enfoques 'de baixo para cima' e 'de cima para baixo' oferecem os mesmos resultados, contanto que não haja nenhuma alteração no estoque de produto durante o período de um ano. O cálculo 'de cima para baixo' pode, teoricamente, gerar um resultado um pouco maior (ou menor) se os estoques de produtos que utilizam a água de modo intensivo aumentarem (ou diminuírem) durante o ano. O motivo é que a abordagem 'de cima para baixo' pressupõe o balanço: $PH_{area,nat}$ mais V_i é igual a $PH_{cons,país}$ mais V_e. Isto é somente uma aproximação, pois, mais precisamente: $PH_{area,país}$ mais V_i é igual a $PH_{cons,país}$ mais V_e mais o aumento do estoque da água virtual. Outra desvantagem da abordagem 'de cima para baixo' é que pode haver atrasos entre o momento em que a água for utilizada na produção e o momento da comercialização do produto. Por exemplo, no caso da comercialização de produtos pecuários pode acontecer o seguinte: a carne ou os produtos feitos à base de couro comercializados durante um ano são oriundos de gado criado e alimentado nos anos anteriores. Parte da água virtualmente incorporada na carne ou no couro se refere à água consumida pelo gado nos anos anteriores. Como resultado, o balanço suposto na abordagem 'de cima para baixo' será válido ao longo de alguns anos, mas não necessariamente em um dado ano.

Além das diferenças teóricas entre as duas abordagens, outras diferenças podem ocorrer devido ao uso de diferentes tipos de dados para efetuar os cálculos. A abordagem 'de baixo para cima' depende da qualidade dos dados referentes ao consumo, enquanto a abordagem 'de cima para baixo' depende da qualidade dos dados de comercialização. Quando as diferentes bases de dados não são consistentes entre si, os resultados das duas abordagens apresentarão diferenças. Em um caso específico, o resultado do cálculo 'de cima para baixo' pode ser muito vulnerável a erros relativamente pequenos nos dados de insumos. Isto ocorre quando o volume de importação e exportação de um país é relativamente grande em comparação à sua produção doméstica, o que é típico em países relativamente pequenos, especializados em comércio exterior. Isto foi apresentado em um estudo de caso da Holanda (Van Oel et al, 2009). Neste caso a pegada hídrica do consumo nacional calculada com base na abordagem 'de cima para baixo' será sensível a variações dos dados de importação e exportação utilizados. Erros relativamente pequenos nas estimativas de importação e exportação da água virtual podem transformar-se em um erro relativamente grande na estimativa da pegada hídrica. Neste caso, a abordagem 'de baixo para cima' irá produzir uma estimativa mais confiável do que a abordagem 'de cima para baixo'. Nos países onde o comércio exterior é relativamente pequeno comparado à produção doméstica, a confiabilidade nos resultados das duas abordagens vai depender da qualidade relativa das bases de dados utilizadas em cada uma.

A pegada hídrica externa do consumo nacional

Tanto a abordagem 'de cima para baixo' como a 'de baixo para cima' permitem o cálculo da pegada hídrica total do consumo nacional ($PH_{cons,nat}$). A abordagem 'de cima para baixo' permite calcular a importação da água virtual para um país (V_i). Anteriormente, na Seção 3.7.2, vimos como calcular a pegada hídrica dentro de um país ($PH_{area,país}$). Com base nesses dados a pegada hídrica externa do consumo nacional ($PH_{cons,país,ext}$) pode ser calculada da seguinte forma:

$$PH_{cons,país,ext} = \frac{PH_{cons,país}}{PH_{área,país} + V_i} \cdot V_i \qquad \text{[volume/tempo]} \tag{38}$$

Esta equação pode ser aplicada separadamente para a categoria de produtos agropecuários e para a categoria de produtos industrializados. A equação acima diz que somente uma fração da importação bruta da água virtual pode ser considerada pegada hídrica externa do consumo nacional e esta fração é igual à porção do balanço da água virtual (soma da pegada hídrica dentro do país com a importação da água virtual), que deve ser atribuída ao consumo nacional. A outra porção do balanço da água virtual é exportada e, portanto, não faz parte da pegada hídrica do consumo nacional.

A pegada hídrica externa do consumo de um país pode ser estimada por país exportador (n_e) e por produto (p), supondo que a razão entre a pegada hídrica externa e a importação total da água virtual se aplicam a todos os países parceiros e produtos importados:

$$PH_{cons,país,ext}[n_{e,p}] = \frac{PH_{cons,país,ext}}{V_i} \cdot V_i[n_e,p] \qquad \text{[volume/tempo]} \tag{39}$$

Pode acontecer de produtos serem importados de países onde eles não são produzidos. Neste caso, será necessário rastrear o país de origem desses produtos. Para alguns tipos de produtos a produção mundial é concentrada em regiões específicas. Para estes produtos pode-se tomar o último lugar de origem com base nos dados da produção mundial. Isso significa que se distribui a pegada hídrica de um país não produtor entre os países produtores, conforme a distribuição da produção mundial.

3.7.4 A economia de água relacionada ao comércio internacional

A economia nacional de água E_n (volume/tempo) de um país resultante da comercialização externa do produto p é definida da seguinte forma:

$$\mathrm{E}_n[p] = (T_i[p] - T_e[p]) \cdot PH_{prod}[p] \qquad \text{[volume/tempo]} \tag{40}$$

Onde: $PH_{prod}[p]$ é a pegada hídrica (volume/unidade de produto) do produto p no país em questão, $T_i[p]$ o volume do produto p importado (unidade de produto/tempo) e $T_e[p]$ o volume do produto exportado (unidade de produto/tempo). Obviamente, En pode ter um sinal negativo, o que significa que houve perda líquida de água ao invés de ganho.

A economia global de água E_g (volume/tempo) através da comercialização do produto p de um país exportador ne para um país importador n_i, é:

$$\mathrm{E}_g[n_e,n_i,p] = T[n_e,n_i,p] \cdot (PH_{prod}[n_i,p] - PH_{prod}[n_e,p]) \qquad \text{[volume/tempo]} \tag{41}$$

Onde: T é o volume da comercialização de p (unidades de produtos/tempo) entre os dois países. A economia global é então obtida através da diferença entre as

produtividades da água dos parceiros de comércio. Quando, em um caso específico, o país importador não está apto a produzir o produto domesticamente recomendamos considerar a diferença entre a pegada hídrica média global do produto e a pegada hídrica no país exportador.

A economia global total de água pode ser obtida através da soma das reduções globais de todos os fluxos de comércio internacional. Por definição, a economia global total da água é igual à soma das economias nacionais de todos os países.

3.7.5 A dependência nacional de água versus a autossuficiência

Definimos a dependência da importação da água virtual (*DA,* %) de um país como a razão entre a pegada hídrica externa e a pegada hídrica total do consumo nacional:

$$DA = \frac{PH_{cons,país,ext}}{PH_{cons,nat}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (42)$$

A autossuficiência nacional de água (*ASN*, %) é definida pela razão entre a pegada hídrica interna e a pegada hídrica total do consumo nacional:

$$ASN = \frac{PH_{cons,país,int}}{PH_{cons,país}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (43)$$

Tanto a dependência quanto a autossuficiência de água podem ser mais bem calculadas em bases anuais ou através da média de um determinado período de anos.

A autossuficiência é 100% quando toda a água necessária encontra-se disponível e é efetivamente tomada dentro do próprio território. A autossuficiência de água se aproxima de zero se a demanda por bens e serviços em um país for suprida com importação bruta da água virtual; em outras palavras, quando o país tem uma pegada hídrica externa relativamente grande em comparação à sua pegada hídrica interna.

3.8 O cálculo da pegada hídrica em bacias hidrográficas

Os cálculos da pegada hídrica total de bacias hidrográficas são semelhantes aos cálculos da pegada hídrica nacional total, conforme discutido na seção anterior. A única diferença está na definição dos limites geográficos considerados. O cálculo da pegada hídrica nacional considera a pegada hídrica dentro do território nacional e a pegada hídrica dos consumidores que vivem nesse território. O cálculo da pegada hídrica em bacias combina o resultado da 'pegada hídrica dos consumidores que vivem dentro da área da bacia' (cálculo dos consumidores, conforme apresentado na Seção 3.5) e o resultado da 'pegada hídrica da área da bacia' (cálculo da área, conforme apresentado na Seção 3.6). A figura 3.10 mostra uma representação visual do esquema de cálculo da pegada hídrica da bacia que, de fato, é semelhante ao esquema de cálculo da pegada hídrica nacional.

A título de orientação pode-se seguir o mesmo método do cálculo da pegada hídrica nacional (Seção 3.7). Basta substituir 'país' por 'bacia'. A única diferença (prática) no cálculo da pegada hídrica de uma bacia é o fato de que os dados sobre comércio não estão disponíveis como nos casos dos países, então não é possível utilizar as estatísticas de comércio. Ao contrário, os fluxos de comercialização precisam ser inferidos de dados disponíveis ou estimativas de produção e consumo dentro da bacia. Pode-se supor que um excedente de produção (quando produção > consumo na bacia) foi exportado para fora da bacia (supondo que não há armazenamento dentro da bacia para o ano seguinte); do mesmo modo, pode-se supor que um déficit na produção (produção < consumo) tenha sido importado.

Vale ressaltar que nem sempre é necessário fazer a contabilidade *completa* da pegada hídrica da bacia, como mostra a Figura 3.10. Ela dependerá do objetivo almejado. Os gestores da bacia hidrográfica estarão interessados principalmente na pegada hídrica dentro de sua bacia e não tanto na pegada hídrica externa das pessoas que vivem na bacia. Eles também não se interessam tanto em saber se a pegada hídrica dentro da bacia é fruto da elaboração de produtos consumidos pelas pessoas que vivem na área da bacia ou da elaboração de produtos que são exportados da bacia. Neste caso, pode ser suficiente calcular a pegada hídrica da área, conforme discutido na Seção 3.6. No entanto, para um entendimento mais amplo da relação entre o uso da água em uma bacia e o sustento da comunidade que nela vive será necessário fazer o cálculo completo da pegada hídrica da bacia.

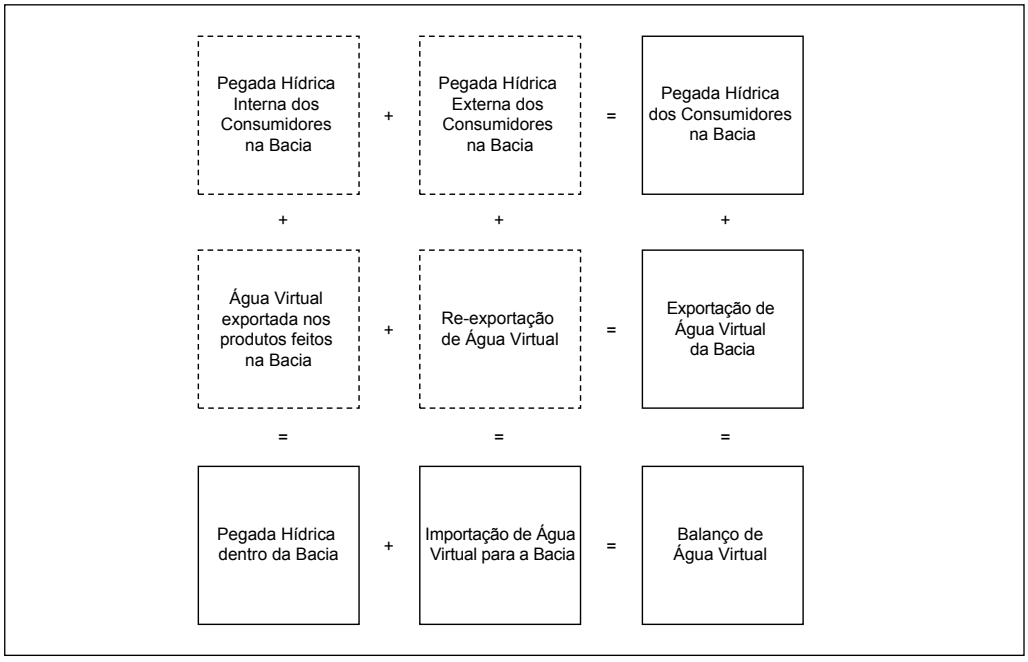


Figura 3.10 *Esquema de cálculo da pegada hídrica de uma bacia hidrográfica. O esquema de cálculo mostra os diversos balanços relacionados à pegada hídrica dos consumidores que habitam a região onde está localizada a bacia hidrográfica, a pegada hídrica da área da bacia hidrográfica, a exportação total de água virtual da bacia hidrográfica e a importação total de água virtual da bacia hidrográfica*

3.9 O cálculo da pegada hídrica para municípios, estado ou outras unidades administrativas

O cálculo da pegada hídrica de um município, estado ou outra unidade administrativa assemelha-se ao cálculo da pegada hídrica de um país (Seção 3.7) ou de uma bacia hidrográfica (Seção 3.8). O mesmo esquema de cálculo de pegada hídrica pode ser aplicado (Figuras 3.9–3.10). Os cálculos da pegada hídrica no âmbito nacional/estadual, no entanto, foram realizados na China (Ma et al, 2006), Índia (Verma et al, 2009), Indonésia (Bulsink et al, 2010) e Espanha (Garrido et al, 2010). Até o momento em que este manual foi escrito, nenhum estudo referente à pegada hídrica municipal havia sido realizado. Pode-se esperar que quanto menor for a unidade administrativa, maior será a fração externa da pegada hídrica dos consumidores na área, principalmente no que se refere a áreas urbanas.

3.10 A pegada hídrica de uma empresa

3.10.1 Definição

A pegada hídrica de uma empresa é definida como o volume total de água doce utilizado direta ou indiretamente para o seu funcionamento e manutenção. A pegada hídrica de uma empresa possui dois componentes. A pegada hídrica operacional (ou direta) de uma empresa corresponde ao volume de água doce consumida ou poluída em decorrência das operações realizadas por ela. A pegada hídrica da cadeia produtiva (ou indireta) de uma empresa consiste no volume de água doce consumida ou poluída para produzir todos os bens e serviços que compõem os insumos utilizados pela empresa. Ao invés do termo 'pegada hídrica de uma empresa' pode-se também usar os termos 'pegada hídrica corporativa' ou 'pegada hídrica organizacional'.

A pegada hídrica total de uma empresa pode ser esquematizada em componentes, como mostra a Figura 3.11. Após essa distinção entre pegada hídrica operacional (direta) e a da cadeia produtiva (indireta), é possível distinguir a pegada hídrica que pode estar imediatamente associada ao(s) produto(s) elaborado(s) pela empresa, da 'pegada hídrica adicional'. A última é definida como a pegada hídrica relacionada às atividades gerais para manter uma empresa e aos bens e serviços gerais consumidos pela empresa. O termo 'pegada hídrica adicional' é utilizado para identificar o consumo de água necessário para o funcionamento contínuo da empresa, mas não está diretamente relacionada à produção de um produto em particular. Em todos os casos é possível distinguir os componentes das pegadas hídricas verde, azul e cinza. A Tabela 3.1 mostra exemplos de vários componentes da pegada hídrica de uma empresa.

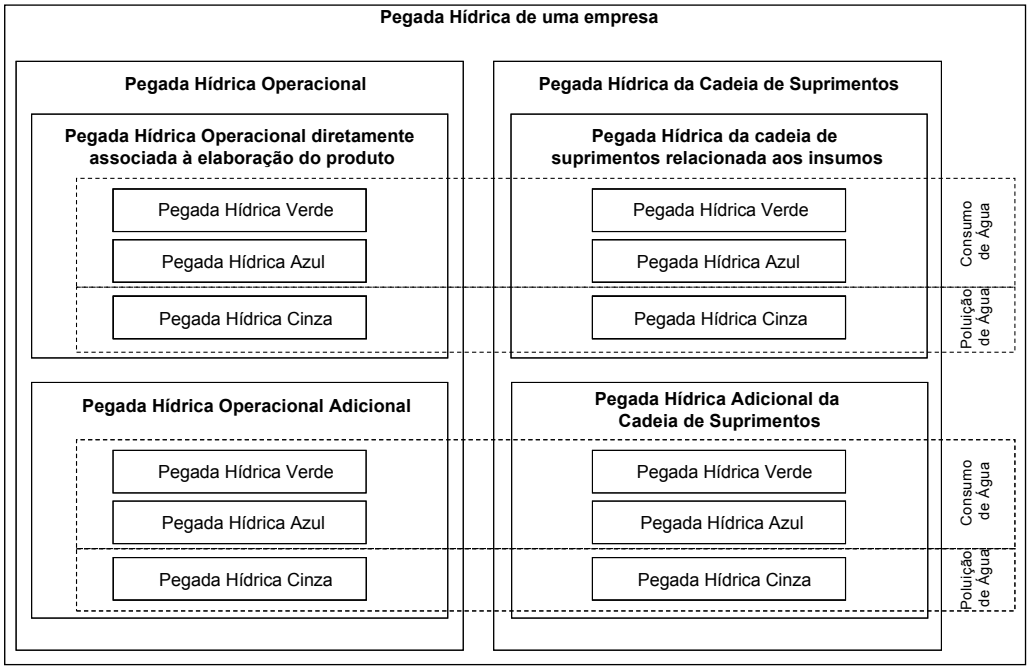

Pegada Hídrica de uma empresa
Pegada Hídrica Operacional
Pegada Hídrica Operacional diretamente associada à elaboração do produto
Pegada Hídrica Verde
Pegada Hídrica Azul
Pegada Hídrica Cinza
Pegada Hídrica Operacional Adicional
Pegada Hídrica Verde
Pegada Hídrica Azul
Pegada Hídrica Cinza
Pegada Hídrica da Cadeia de Suprimentos
Pegada Hídrica da cadeia de suprimentos relacionada aos insumos
Pegada Hídrica Verde
Pegada Hídrica Azul
Pegada Hídrica Cinza
Pegada Hídrica Adicional da Cadeia de Suprimentos
Pegada Hídrica Verde
Pegada Hídrica Azul
Pegada Hídrica Cinza
Consumo de Água
Poluição de Água
Consumo de Água
Poluição de Água

Figura 3.11 *Composição da pegada hídrica de uma empresa*

Tabela 3.1 *Exemplos de componentes da pegada hídrica de uma empresa*

Pegada hídrica operacional		***Pegada hídrica da cadeia de suprimento***	
Pegada hídrica diretamente associada à elaboração dos produtos da empresa	***Pegada hídrica adicional***	***Pegada hídrica diretamente associada à elaboração dos produtos da empresa***	***Pegada hídrica adicional***
• Água incorporada no produto. • Água consumida ou poluída através de um processo de lavagem. • Água poluída termicamente devido ao uso de refrigeração.	• Consumo ou poluição da água relacionados ao uso da água em cozinhas, limpeza, jardinagem ou lavagem de roupas.	• Pegada hídrica dos ingredientes do produto comprado pela empresa. • Pegada hídrica de outros itens comprados pela empresa para processar seus produtos.	• Pegada hídrica de infraestrutura (materiais de construção, etc). • Pegada hídrica de energia e materiais de uso geral (materiais de escritório, carros e caminhões, combustível, eletricidade, etc).

Além das pegadas hídricas operacional e da cadeia produtiva, pode ser que a empresa queira identificar uma 'pegada hídrica de uso final' de seu produto. Esta pegada hídrica se refere ao consumo e à poluição da água que ocorrem quando o produto é utilizado pelos consumidores como acontece, por exemplo, no caso da poluição da água resultante do uso de sabão nas residências. Estritamente falando, a pegada hídrica do uso final de um produto não é considerada como parte da pegada hídrica do produto, mas sim parte da pegada hídrica do consumidor. Os consumidores podem utilizar os produtos de várias formas, de modo que será necessário adotar suposições sobre o seu uso típico, no cálculo da 'pegada hídrica de uso final' de um produto.

Por definição, a 'pegada hídrica de uma empresa' é igual à 'soma das pegadas hídricas dos produtos da empresa'. A 'pegada hídrica da cadeia produtiva de uma empresa' é igual à 'soma das pegadas hídricas dos insumos da empresa'. Calcular a pegada hídrica de uma empresa ou calcular a pegada hídrica dos principais produtos elaborados por uma empresa é praticamente a mesma coisa, mas o foco é diferente. No cálculo da pegada hídrica de uma empresa há grande preocupação com a distinção entre a pegada hídrica operacional (direta) e a pegada hídrica da cadeia produtiva (indireta). Isto é altamente relevante do ponto de vista de políticas de gestão, pois uma empresa tem controle direto sobre sua pegada hídrica operacional e influência indireta sobre a pegada hídrica da sua cadeia produtiva. Ao calcular-se a pegada hídrica de um produto, não há distinção entre as pegadas hídricas direta e indireta; são consideradas apenas as pegadas hídricas do processo para todos os processos relevantes que integram o sistema de produção, ignorando o fato de que o sistema de produção pode pertencer ou ser operado por empresas diferentes. Neste sentido, é possível estabelecer um cálculo híbrido entre a pegada hídrica de um produto e a pegada hídrica de uma empresa, focalizando-se o cálculo da pegada hídrica de um produto em particular – por exemplo, escolhendo apenas um dos diversos produtos produzidos por uma empresa – explicitando, porém, qual parte da pegada hídrica do produto ocorre nas próprias operações da empresa e qual parte ocorre na cadeia produtiva da empresa.

O cálculo da pegada hídrica de uma empresa oferece uma nova perspectiva para o desenvolvimento de uma estratégia corporativa informativa sobre o uso da água. Isto se deve ao fato de que a pegada hídrica, como indicador do uso da água, difere do indicador de 'captação de água nas operações', adotado pela maioria das empresas até o momento. No Quadro 3.10 são discutidas algumas implicações para as empresas que passaram a analisar suas pegadas hídricas.

Quadro 3.10 *O que há de novo para as empresas ao considerar a pegada hídrica de seus negócios?*

- Tradicionalmente, as empresas se preocupam com o uso da água em suas operações e não em sua cadeia produtiva. A pegada hídrica, por outro lado, adota uma abordagem integrada. A maioria das empresas irá descobrir que a pegada hídrica da sua cadeia produtiva é muito maior do que a sua pegada hídrica operacional. Com base nisso, as empresas podem concluir que é mais rentável deixar de investir na redução do seu uso operacional de água para ampliar os esforços em reduzir a pegada hídrica da sua cadeia produtiva e os riscos associados.
- Tradicionalmente, as empresas buscaram a redução das suas captações de água. A pegada hídrica mostra o uso da água em termos de consumo e não em termos de captação. A vazão de retorno pode ser reutilizada, por isso, faz sentido focar especificamente no uso consuntivo da água.
- As empresas certificam-se de ter outorga de direito de uso da água. Porém, isso não é suficiente para reduzir os riscos relacionados à água. Convém observar os detalhes espaço-temporais da pegada hídrica de uma empresa, pois os detalhes referentes a onde e quando a água é utilizada podem servir de insumos para promover uma avaliação da sustentabilidade da pegada hídrica, para identificar os impactos ambientais, sociais e econômicos e para descobrir possíveis riscos associados ao negócio.
- Tradicionalmente, as empresas se preocupam em respeitar os padrões de lançamentos (de efluentes). A pegada hídrica estima o volume de água necessário para assimilar os efluentes com base nos padrões de qualidade da água em seu estado natural. Respeitar os padrões de lançamento é uma coisa, mas observar como os efluentes realmente reduzem a capacidade de assimilação dos corpos de água doce e os riscos associados ao negócio é outra. É fácil respeitar os padrões de lançamento de efluentes (que são definidos de acordo com a concentração) acrescentando mais água, no intuito de diluir os efluentes antes do lançamento. Diluir efluentes pode ajudar no cumprimento dos seus padrões de lançamento, mas não reduz a pegada hídrica cinza, pois ela está relacionada à carga total de substâncias químicas lançadas ao meio ambiente e não à concentração de substâncias químicas nos efluentes (isto está bem ilustrado no primeiro exemplo do Anexo IV.)

3.10.2 A escolha dos limites organizacionais da empresa

Neste manual uma empresa é definida como uma entidade consistente, que produz bens e/ou serviços que são fornecidos aos consumidores ou a outras empresas. Pode ser uma empresa privada, corporação ou, ainda, uma organização governamental ou não governamental. Pode se referir a vários níveis de escala como, por exemplo, uma unidade específica ou divisão de uma empresa, uma empresa inteira ou todo um setor de negócios. No setor público, pode se referir a uma unidade em um município, bem como o governo nacional como um todo. O termo 'empresa' também pode se referir a um consórcio ou conjunto de empresas ou organizações que visam à produção de um determinado bem ou serviço. Na verdade, o termo empresa pode se referir também a

qualquer projeto (assim como a construção de uma obra) ou atividade (por exemplo, a organização de um grande evento esportivo). Desta forma, o termo 'empresa' oferece uma definição tão ampla que pode se referir a todos os tipos de corporações, organizações, projetos e atividades. Em termos técnicos, uma empresa é compreendida aqui como qualquer entidade ou atividade consistente, que transforma um conjunto de insumos em um ou mais produtos.

Visando à estimativa da pegada hídrica de uma empresa, o tipo de negócio deve ser claramente delineado. Devem ficar claros quais são os limites da empresa considerada. Deve ser possível esquematizar a empresa em um sistema que seja claramente distinguido de seu ambiente e onde insumos e produtos sejam claramente conhecidos.

Qualquer que seja o seu tipo as empresas geralmente consistem de certo número de unidades. Por exemplo, uma empresa pode ter operações (tais como fábricas) em vários locais. A empresa pode ter divisões separadas em um único local. Para calcular a pegada hídrica é útil distinguir as diferentes unidades da empresa. Por exemplo, quando uma empresa manufatureira possui distintas fábricas em locais diferentes, essas fábricas provavelmente operam sob condições diferentes e obtêm seus insumos de distintos lugares. Neste caso convém calcular primeiramente a pegada hídrica de cada unidade da empresa e somar os resultados individuais como a pegada global da empresa.

É necessário definir quais unidades da empresa serão analisadas e especificar os insumos e os produtos anuais para cada unidade. Os insumos e produtos devem ser descritos em unidades físicas. Preferencialmente, uma unidade de empresa se refere a uma parte da empresa que produz um determinado produto em um determinado lugar. Quando uma empresa tem atividades em lugares diferentes é preferível esquematizar em termos de unidades de empresa, de modo que as unidades individuais operem em um local. Além disso, as operações de uma empresa em um determinado local são esquematizadas, preferencialmente, em diferentes unidades de empresas, cada uma produzindo o seu próprio produto. É mais interessante esquematizar a empresa com base nos principais produtos primários que ela desenvolve. No entanto, também é possível distinguir as unidades de serviços que fornecem apenas bens ou serviços para as unidades de produção primárias.

Para exemplificar, a Figura 3.12 mostra uma empresa que produz produtos A, B e C. A empresa tem três unidades. A unidade 1 produz o produto A. Parte do produto A é entregue à unidade 2, mas a maior parte da produção é comercializada para outras empresas. A unidade 2 produz o produto B, que é parcialmente vendido a outra empresa e parcialmente entregue à unidade 3. A unidade 3 produz o produto C, que é fornecido à unidade 2 e comercializado externamente. Cada unidade recebe um determinado número de insumos produzidos por empresas a montante (na cadeia produtiva), com usos diretos e indiretos de água doce. Um modelo esquemático, conforme apresentado na Figura 3.12, pode servir de base para o cálculo da pegada hídrica de uma empresa, conforme será explicado na próxima seção.

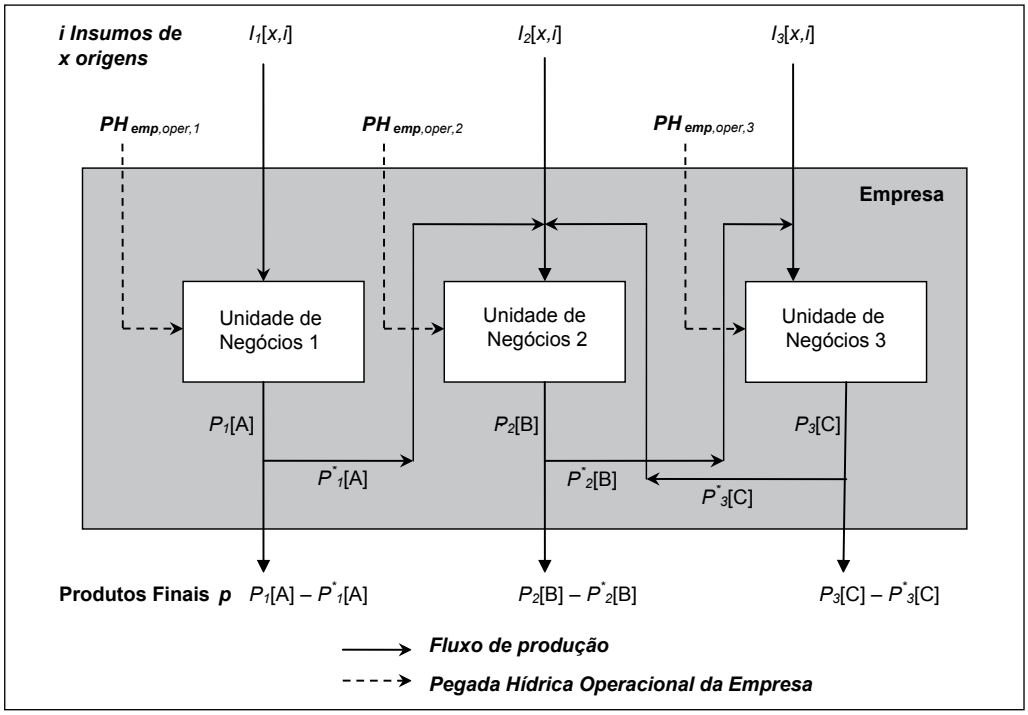


Figura 3.12 *Empresas que possuem três unidades que produzem produtos A-C. A entrada do produto Iu[x,i] se refere ao volume anual de insumo i da fonte x na unidade de negócio u. A saída do produto Pu[p] se refere ao volume anual de produto final p da unidade de negócio u. O fluxo de produto P*u[p] se refere à parte do Pu[p] que é encaminhada para outra unidade de negócio, dentro da mesma empresa*

Quando uma empresa é grande e heterogênea (com locais e/ou produtos diferentes), pode ser interessante esquematizar a empresa em algumas unidades principais e cada unidade principal em um número de unidades menores novamente. Desta forma, a empresa pode ser esquematizada na forma de um sistema com subsistemas, em diversos níveis. Ao final, o resultado da pegada hídrica no nível mais baixo pode ser agregado ao resultado do segundo nível mais baixo e assim por diante, até envolver todos os níveis da empresa.

3.10.3 O cálculo da pegada hídrica de uma empresa

Abaixo, mostraremos como calcular a pegada hídrica de uma 'unidade da empresa'. No final desta seção, mostraremos como calcular a pegada hídrica de uma empresa constituída por um determinado número de unidades. A pegada hídrica da unidade de uma empresa (PH_{emp}, volume/tempo) é calculada através da soma da pegada hídrica operacional desta unidade com a pegada hídrica da sua cadeia produtiva:

$$PH_{emp} = PH_{emp,oper} + PH_{emp,cad} \qquad \text{[volume/tempo]} \qquad (44)$$

Os dois componentes consistem em uma pegada hídrica que pode estar diretamente associada à elaboração do produto na unidade de empresa e à pegada hídrica adicional:

$$PH_{emp,oper} = PH_{emp,oper,ins} + PH_{emp,oper,adic} \quad \text{[volume/tempo]} \quad (45)$$

$$PH_{emp,cad} = PH_{emp,cad,ins} + PH_{emp,cad,adic} \quad \text{[volume/tempo]} \quad (46)$$

A pegada hídrica operacional equivale ao uso consuntivo da água e à poluição da água que pode estar relacionada às operações da empresa. Com base nas orientações contidas na Seção 3.3, pode-se simplesmente observar o fluxo de evaporação das operações, o volume de água incorporada aos produtos e a vazão de retorno de água para outras bacias diferentes daquela de onde a água foi retirada. Além disso, é importante considerar os volumes de efluentes e as respectivas concentrações de substâncias químicas. A pegada hídrica adicional – o consumo e a poluição da água relacionados às atividades da empresa que requerem o uso da água – pode ser identificada e quantificada do mesmo modo que a pegada hídrica operacional que está diretamente associada ao processo de produção. No entanto, a pegada hídrica adicional frequentemente servirá a mais de uma unidade da empresa em questão. Por exemplo, a pegada hídrica adicional de uma fábrica com duas linhas de produção terá que ser distribuída entre essas duas linhas. Caso uma unidade da empresa tenha sido definida como uma das linhas de produção é necessário calcular a parcela da pegada hídrica adicional pertinente a essa linha de produção. Isto pode ser feito de acordo com os valores de produção das duas linhas.

A pegada hídrica da cadeia produtiva por unidade de negócio (volume/tempo) pode ser calculada através da multiplicação do volume dos diversos insumos (dados disponíveis na própria empresa) pelas respectivas pegadas hídricas dos insumos (dados devem ser obtidos junto aos fornecedores). Supondo que haja diferentes insumos i originários de fontes diferentes x, a pegada hídrica da cadeia produtiva de uma unidade da empresa é calculada conforme segue:

$$PH_{emp,cad} = \Sigma_x \left(\Sigma_i \left(PH_{prod}\,[x,i] \cdot I[x,i]\right)\right) \quad \text{[volume/tempo]} \quad (47)$$

Onde: $PH_{emp,cad}$ representa a pegada hídrica da cadeia produtiva da unidade da empresa (volume/tempo), $PH_{prod}[x,i]$ a pegada hídrica do insumo i da fonte x (volume/unidade do produto) e $I[x,i]$ o volume de insumos i da fonte x para a unidade da empresa (unidades de produto/tempo).

A pegada hídrica do produto depende da origem do produto. Quando o produto vem de outra unidade da mesma empresa o valor da pegada hídrica do produto é conhecido a partir do próprio sistema de cálculo (veja o final dessa seção). Quando o produto se origina de um fornecedor externo o valor da pegada hídrica do produto deve

ser obtido junto ao fornecedor ou estimado com base em dados indiretos referentes às características de produção do fornecedor. As pegadas hídricas do produto são compostas por três cores (verde, azul e cinza), que devem ser calculadas separadamente de forma que o resultado da pegada hídrica da cadeia produtiva da unidade da empresa possa também contemplar os três componentes.

A pegada hídrica de cada produto final específico de uma unidade da empresa é estimada pela divisão da pegada hídrica da unidade da empresa pelo volume de produção. A alocação da pegada hídrica para os produtos finais pode ser feita de diferentes formas como, por exemplo, de acordo com a massa, o conteúdo energético ou o valor econômico. Segundo os procedimentos tradicionais em estudos de avaliação de ciclo da vida é recomendável alocar a pegada hídrica de acordo com o valor econômico dos produtos. Assim, a pegada hídrica do produto final p de uma unidade da empresa (PH_{prod}[p], volume/unidade do produto) pode ser calculada conforme segue:

$$PH_{prod}\,[p] = \frac{E[p]}{\sum_p E[p]} \cdot \frac{PH_{emp}}{P[p]} \qquad \text{[volume/unidade de produto]} \tag{48}$$

Onde: $P[p]$ é o volume do produto final p da unidade da unidade da empresa (unidades de produto/tempo), $E[p]$ é o valor econômico total do produto final p (unidade monetária/tempo) e $\sum E[p]$ é o valor econômico total de todos os produtos finais juntos (unidade monetária/tempo). Se a unidade da empresa produz um único produto, a equação acima é simplificada, conforme segue:

$$PH_{prod}\,[p] = \frac{PH_{emp}}{P[p]} \qquad \text{[volume/unidade de produto]} \tag{49}$$

Todas as equações acima devem ser aplicadas no âmbito da unidade de uma empresa. Supondo que uma empresa seja esquematizada em um número de unidades u, a pegada hídrica de uma empresa como um todo ($PH_{emp,tot}$) é calculada pela agregação das pegadas hídricas de suas unidades. A fim de evitar duplicação de cálculo é necessário subtrair os fluxos de água virtual entre as diversas unidades da empresa:

$$PH_{emp,tot} = \Sigma_u PH_{emp}\,[u] - \Sigma_u \Sigma_p (PH_{prod}\,[u,p] \cdot P^*[u,p] \quad \text{[volume/tempo]} \tag{50}$$

onde $P^*[u,p]$ representa o volume anual da produção do produto final p da unidade de empresa u para outra unidade da mesma empresa (unidades de produto/tempo).

Notas

1. Sabemos que o uso da água relacionado a um produto não é limitado ao seu estágio de produção. No caso de muitos produtos (por exemplo, uma máquina de lavar), a utilização do produto requer o uso da água. Este componente do uso da água, no entanto, não faz parte da pegada hídrica do produto. O uso da água referente à utilização do produto faz parte do cálculo da pegada hídrica do consumidor do produto. A água destinada ao reúso, à reciclagem ou à fase de descarte de um produto compõe a pegada hídrica da empresa ou organização que fornece o serviço e faz parte das pegadas hídricas dos consumidores que são beneficiados por esse serviço.
2. Esta suposição implica que

$$\frac{PH_{cons,país,ext}}{V_{e,r}} = \frac{PH_{cons,país,int}}{V_{e,d}} = \frac{PH_{cons,país}}{V_e} \quad \text{e que} \quad \frac{PH_{cons,país,ext}}{PH_{cons,país,int}} = \frac{V_{e,r}}{V_{e,d}} = \frac{V_i}{PH_{área,país}}$$

3. Deve-se abrir uma exceção para as categorias de produtos para os quais a reexportação é uma parte significativa da importação. A proporção nacional entre $PH_{cons,país,ext}$ e V_i não é considerada uma boa suposição aqui. Ao contrário, recomenda-se aplicar uma proporção específica de $PH_{cons,país,ext}$ para V_i que seja válida para a categoria do produto em questão.

Capítulo 4

Avaliação da Sustentabilidade da Pegada Hídrica

4.1 Introdução

A pegada hídrica é um indicador da apropriação de água doce (em m^3/ano), desenvolvido em analogia à pegada ecológica, que é um indicador do uso do espaço biologicamente produtivo (em ha). Para se ter uma ideia do que significa o tamanho da pegada hídrica é necessário compará-la com os recursos hídricos disponíveis (também expressos em m^3/ano), assim como é necessário comparar a pegada ecológica com o espaço biologicamente produtivo disponível (em ha) (Hoekstra, 2009). Essencialmente, a avaliação de sustentabilidade da pegada hídrica visa comparar a pegada hídrica humana com o que a Terra pode suportar de modo sustentável. Quando mergulhamos neste tema, no entanto, descobrimos que há muitas questões e muita complexidade envolvidas. A sustentabilidade, por exemplo, tem distintas dimensões (ambiental, social, econômica); os impactos podem ocorrer em níveis diferentes (impactos primários, secundários) e a pegada hídrica tem cores distintas (verde, azul, cinza). Neste capítulo, apresentamos um guia para a avaliação de sustentabilidade da pegada hídrica, decorrente da recente visibilidade desse tema (Quadro 4.1).

Quadro 4.1 *A origem da avaliação de sustentabilidade da pegada hídrica*

Durante o desenvolvimento do conceito da pegada hídrica (2002–2008), o foco estava voltado para o seu cálculo. A pegada hídrica é, basicamente, uma inovação no que se refere à medição da apropriação da água pelo homem. Antes disso, o uso da água não era medido ao longo das cadeias produtivas e as águas verde e cinza eram excluídas das estatísticas de uso da água. Além disso, as medidas anteriores eram focadas nas captações de água azul, ignorando o fato de que o principal fator que determina o impacto no sistema hídrico de uma bacia hidrográfica é o uso consuntivo da água. Desde o início do processo reconheceu-se que o cálculo da pegada hídrica refere-se somente à apropriação da água doce; que as pegadas hídricas verde e azul em uma área geográfica precisam ser comparadas à disponibilidade de água verde e azul e que a pegada hídrica cinza precisa ser comparada à capacidade da bacia de assimilar efluentes. Porém, poucos trabalhos foram realizados neste sentido. Hoekstra (2008a) fez, pela primeira vez, uma menção explícita sobre a necessidade de incluir a 'avaliação de sustentabilidade da pegada hídrica' após a fase de cálculo, referida, na época, como 'avaliação de impacto'. A comparação da pegada hídrica com a disponibilidade real de água e a identificação dos pontos críticos de escassez foram realizadas pela primeira vez por Van Oel et al (2008), Kampman et al (2008) e Chapagain e Orr (2008).

No primeiro *Manual da Pegada Hídrica*, o termo 'avaliação de impacto' foi substituído por 'avaliação de sustentabilidade', pois este último reflete melhor a sua abrangência (Hoekstra et al, 2009a). O termo 'impacto' chama a atenção para os impactos locais, ou seja, o impacto imediatamente visível *in loco*, que é uma visão muito restrita. Como os recursos de água doce no mundo são limitados, é preciso avaliar a sustentabilidade das pegadas hídricas em um contexto bem mais amplo. Ignorar a questão do uso ou da poluição da água em áreas com grande disponibilidade hídrica é o mesmo que ignorar o uso da energia nos países ricos em petróleo. Desperdiçar ou poluir água em uma área hidricamente rica é tão preocupante quanto desperdiçar energia nos países ricos em petróleo. Ao se promover o uso eficiente da água em áreas hidricamente ricas para a produção de commodities que requerem seu uso intensivo, reduz-se a necessidade de água para produzir essas mesmas mercadorias em outras áreas onde há escassez hídrica. Assim, avaliar a sustentabilidade das pegadas hídricas vai além da simples observação dos seus possíveis impactos locais e imediatos.
Na primeira versão do *Manual da Pegada Hídrica* foi dado o passo inicial rumo à estruturação da fase de 'avaliação de sustentabilidade da pegada hídrica'. Subsequentemente, no período de dezembro de 2009 a julho de 2010, o *Grupo de Trabalho da Avaliação de Sustentabilidade* da Rede de Pegada Hídrica (WFN) revisou o manual e fez algumas recomendações (Zarate, 2010b), que foram consideradas nesta versão do manual. Mais especificamente, adotamos a ideia de 'limites de sustentabilidade ambiental' (segundo Richter, 2010) e o conceito de impactos primário-secundários. Comparando o manual atual com o primeiro observar-se-á que o capítulo de avaliação de sustentabilidade foi completamente reestruturado. Está mais explícito agora que a estimativa da sustentabilidade da pegada hídrica total em uma área geográfica é diferente daquela de um processo, produto, produtor ou consumidor em particular. Uma distinção clara foi feita entre os diferentes tipos de questões existentes e as diversas formas como elas devem ser abordadas.

A questão da sustentabilidade das pegadas hídricas pode ser considerada sob diversos pontos de vista. Do ponto de vista geográfico podem surgir questões do tipo: a pegada hídrica total dentro de uma determinada região geográfica é sustentável? A resposta será negativa quando, por exemplo, as demandas de vazões ambientais ou os padrões de qualidade da água em seu estado natural estiverem comprometidos ou quando a alocação da água dentro de uma bacia for considerada injusta ou ineficiente. Ao considerar um processo específico do uso da água podem surgir questões como: a pegada hídrica desse processo é sustentável? A resposta depende de dois critérios. Em primeiro lugar, a pegada hídrica de um processo é insustentável quando ele ocorre em certo período do ano em uma determinada bacia hidrográfica onde a pegada hídrica global é insustentável. Segundo, a pegada hídrica de um processo é insustentável em si – independente do contexto geográfico – quando houver possibilidade de reduzir ou evitar as pegadas hídricas verde, azul ou cinza do processo de forma conjunta (a um custo social aceitável). Do ponto de vista de um produto, a questão relevante é: a pegada hídrica do produto é sustentável? A resposta para essa questão dependerá da sustentabilidade das pegadas hídricas dos processos que fizeram parte do sistema de produção desse produto. Do ponto de vista do produtor podem surgir outras questões como, por exemplo: a pegada hídrica do produtor é sustentável? Como a pegada hídrica de um produtor é igual à soma das pegadas hídricas dos produtos elaborados por ele a resposta para esta questão depende da sustentabilidade destes produtos.

Finalmente, do ponto de vista de um consumidor pode-se perguntar: a pegada hídrica do consumidor é sustentável? Como a pegada hídrica de um consumidor é igual à soma das pegadas hídricas dos produtos consumidos por ele a resposta vai depender, novamente, da sustentabilidade das pegadas hídricas dos produtos consumidos. Aqui, no entanto, um novo critério entra em cena, pois a sustentabilidade da pegada hídrica de um consumidor depende também se a pegada hídrica do consumidor é menor ou maior que a cota de cada indivíduo considerando as limitações da pegada hídrica da humanidade.

A sustentabilidade da pegada hídrica de um produto, produtor ou consumidor depende em parte dos contextos geográficos onde os diversos componentes da pegada hídrica de um produto, produtor ou consumidor estão localizados. Raramente a pegada hídrica de um processo, produto, produtor ou consumidor em particular originará os problemas de escassez de água e poluição que vivenciamos. Estes problemas surgem como efeitos cumulativos de todas as atividades realizadas na área geográfica considerada. A pegada hídrica total em uma área é a soma de muitas pegadas menores cada uma delas relacionada a um determinado processo, produto, produtor e consumidor. Quando a pegada hídrica de um processo, produto, produtor ou consumidor contribui para uma situação insustentável observada dentro de um determinado contexto geográfico, podemos dizer que essa pegada hídrica também é insustentável.

Iniciaremos este capítulo mostrando como avaliar a sustentabilidade da pegada hídrica dentro de uma bacia hidrográfica. Subsequentemente, mostraremos como avaliar a sustentabilidade da pegada hídrica de um processo, produto, produtor ou consumidor. Esta ordem foi assim definida porque as seções iniciais serão mencionadas nas seções posteriores. Não se pode avaliar a sustentabilidade da pegada hídrica de um processo sem saber qual é a sustentabilidade da pegada hídrica total na bacia onde o processo está localizado. Não se pode avaliar a sustentabilidade da pegada hídrica de um produto sem conhecer a sustentabilidade dos processos envolvidos. E, por fim, não se pode avaliar a sustentabilidade das pegadas hídricas dos produtores ou consumidores sem saber qual é a sustentabilidade dos produtos que são produzidos ou consumidos.

4.2 Sustentabilidade Geográfica: a sustentabilidade da pegada hídrica dentro de uma bacia hidrográfica

4.2.1 Introdução

A melhor maneira de avaliar a sustentabilidade da pegada hídrica total em uma área geográfica é fazê-lo considerando a área de uma bacia hidrográfica. No âmbito dessa unidade hidrológica é possível comparar, de maneira razoável, a pegada hídrica verde ou azul com a disponibilidade de água verde ou azul ou a pegada hídrica cinza com a capacidade disponível de assimilação de resíduos. Além disso, as questões referentes à alocação justa e eficiente dos recursos hídricos são mais relevantes na escala das bacias.

A sustentabilidade da pegada hídrica dentro de uma bacia pode ser analisada sob três perspectivas diferentes: ambiental, social e econômica. Para cada uma das

perspectivas existem alguns 'critérios de sustentabilidade' (Quadro 4.2). Um critério de sustentabilidade indica quando uma pegada hídrica em uma bacia hidrográfica não pode mais ser considerada sustentável.

Quadro 4.2 *O critério de sustentabilidade para o uso e a alocação da água dentro de uma bacia hidrográfica*

A pegada hídrica de uma bacia precisa atender a certos critérios para ser considerada sustentável. A sustentabilidade tem uma dimensão ambiental, bem como uma dimensão social e econômica.

- **Sustentabilidade ambiental:** A qualidade da água deve permanecer dentro de certos limites. Indicadores destes limites são os 'padrões de qualidade da água em seu estado natural', acordados pelas pessoas. Além disso, os rios e fluxos de água subterrânea devem permanecer dentro de certos limites comparados aos do escoamento natural a fim de preservar os ecossistemas que dependem de rios e águas subterrâneas, bem como as comunidades que dependem destes ecossistemas. No caso dos rios, as chamadas 'demandas de vazão ambiental' definem os limites para as alterações no escoamento, do mesmo modo que os padrões de qualidade da água em seu estado natural definem os limites para a poluição (Richter, 2010). No caso da água verde, as 'demandas ambientais de água verde' definem os limites para o consumo humano da água verde.
- **Sustentabilidade social:** Uma quantidade mínima de água doce disponível no planeta precisa ser alocada para as 'necessidades básicas do homem'; mais precisamente, um suprimento mínimo de água de uso doméstico, ou seja, para beber, lavar e cozinhar e uma alocação mínima de água para a produção de alimentos, para assegurar alimentos suficientes para todos. Estes critérios implicam que somente a fração de água disponível remanescente, após as retiradas de água para atender as demandas ambientais e as necessidades básicas do homem, pode ser alocada para usos 'não essenciais'. Um suprimento mínimo de água para beber, lavar e cozinhar precisa ser assegurado em nível de bacia hidrográfica. Uma alocação mínima de água para produzir alimentos deve ser assegurada em nível mundial, pois as comunidades que vivem nas bacias não são necessariamente autossuficientes em termos de alimentos, sendo a segurança alimentar garantida através da importação de alimentos.
- **Sustentabilidade econômica:** Do ponto de vista econômico a água precisa ser alocada e utilizada eficientemente. Os benefícios de uma pegada hídrica (verde, azul ou cinza) que resulta do uso da água para um determinado fim devem ser superiores ao custo total referente a essa pegada hídrica, incluindo externalidades e custos de oportunidades. Do contrário, a pegada hídrica é insustentável.

Quando a pegada hídrica verde, azul ou cinza de uma bacia não atende a algum dos critérios de sustentabilidade ambiental, social ou econômica, a pegada hídrica não pode ser considerada 'geograficamente sustentável'.

Identificar e quantificar o critério de sustentabilidade é o primeiro passo da avaliação da sustentabilidade da pegada hídrica de uma bacia hidrográfica (Figura 4.1). O segundo passo é identificar os pontos críticos[1] dentro da bacia, ou seja, as sub-bacias e os períodos

1 N. do T.: hotspot.

do ano em que a pegada hídrica é considerada insustentável. No terceiro e quarto passos serão quantificados os impactos primários e secundários destes pontos críticos.

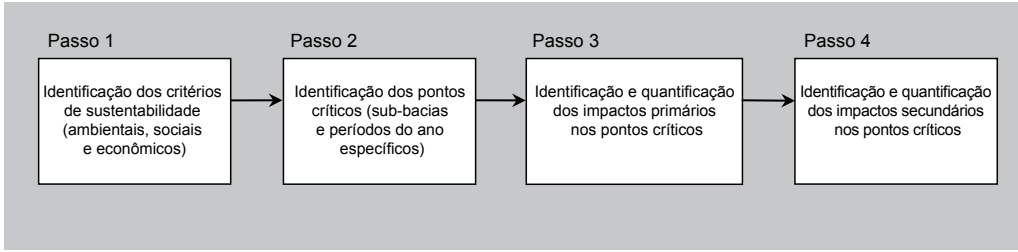

Passo 1
Identificação dos critérios de sustentabilidade (ambientais, sociais e econômicos)
Passo 2
Identificação dos pontos críticos (sub-bacias e períodos do ano específicos)
Passo 3
Identificação e quantificação dos impactos primários nos pontos críticos
Passo 4
Identificação e quantificação dos impactos secundários nos pontos críticos

Figura 4.1 *Avaliação da sustentabilidade da pegada hídrica dentro de uma bacia hidrográfica em quatro passos*

Um ponto crítico é considerado como sendo um determinado período do ano (por exemplo, o período da seca) em uma bacia ou sub-bacia específica em que a pegada hídrica é considerada insustentável, seja por comprometer as demandas ambientais de água ou os padrões de qualidade da água ou porque a alocação e o uso da água na bacia são considerados injustos e/ou ineficientes do ponto de vista econômico. Em um ponto crítico ocorrem problemas de escassez de água, poluição ou conflitos pelo uso da água. Os pontos críticos são os locais e os períodos do ano em que as pegadas hídricas não são sustentáveis e precisam ser reduzidas.

Ao considerar uma bacia hidrográfica como um todo sem considerar suas sub-bacias, ela pode ser classificada como um ponto crítico ou não, dependendo se os problemas surgem no nível das sub-bacias ou da bacia como um todo. A vantagem de procurar pontos críticos no nível de sub-bacias relativamente pequenas (até 100 km^2, por exemplo), é a possibilidade de identificar pontos críticos que podem desaparecer em um nível de resolução menor, como no caso de grandes bacias. Se compararmos a pegada hídrica cinza de uma bacia com sua capacidade de assimilação como um todo, pode parecer que a capacidade de assimilação de resíduos é suficiente, embora isso não ocorra em determinadas sub-bacias a montante, onde há maior concentração de poluição. A desvantagem de procurar pontos críticos usando alta resolução espacial é que são necessários muito mais dados (sobre como são distribuídas as pegadas hídricas totais verdes, azul e cinza de uma bacia e como a disponibilidade da água verde e azul e a capacidade de assimilação de resíduos variam na bacia). Outra desvantagem é que alguns problemas podem surgir apenas em uma escala espacial maior, por exemplo, no processo de acumulação de poluentes a jusante. Portanto, a melhor abordagem é considerar uma bacia hidrográfica inteira como a unidade analítica e distinguir sub-bacias relativamente pequenas dentro dessa bacia. Assim, a avaliação pode ser realizada tanto nos níveis das sub-bacias como nos níveis agregados das grandes bacias como um todo.

Após identificar os pontos críticos é possível estudar as implicações ambientais, sociais e econômicas com mais detalhes. Distinguimos aqui a identificação de impactos 'primários' e 'secundários'. Os impactos primários são descritos em termos de alteração da quantidade e da qualidade da água (comparados a condições naturais, sem intervenção

humana). Mostrar-se-á, por exemplo, a redução do escoamento de uma bacia decorrente da pegada hídrica azul humana na bacia e até que ponto isso interfere nas demandas de vazões ambientais. Além disso, poder-se-á mostrar, em detalhes, como a qualidade da água mudou quando comparada com as condições naturais considerando cada parâmetro de qualidade da água individual e quais são os que desrespeitam os padrões de qualidade da água, no seu estado natural. Os impactos secundários são os bens ou serviços ecológicos, sociais e econômicos que são afetados negativamente em uma bacia, como resultado dos impactos primários. Os impactos secundários podem ser medidos, por exemplo, em termos de extinção de espécies, redução da biodiversidade, redução da segurança alimentar, alterações na saúde do homem, diminuição na renda decorrente de atividades econômicas que dependem da água e assim por diante.

4.2.2 Critério de sustentabilidade ambiental para identificar pontos críticos

Do ponto de vista ambiental, a pegada hídrica de uma bacia é insustentável e, consequentemente, representa um ponto crítico quando as demandas ambientais de água são desrespeitadas ou quando a poluição excede a capacidade de assimilação de efluentes do corpo d'água. Para saber qual é o nível de gravidade da situação podemos calcular a escassez das águas verde e azul e o nível de poluição da água, conforme definidos adiante. Um ponto crítico ambiental ocorre quando a escassez das águas verde e azul e/ou o nível de poluição da água excederem 100%. No caso da pegada hídrica azul também é importante avaliar se a pegada hídrica gera redução nos níveis de águas subterrâneas ou de lagos a ponto dessa redução exceder um determinado limite ambiental.
Como os pontos críticos ambientais podem estar especificamente relacionados às pegadas hídricas verde, azul ou cinza de uma bacia hidrográfica, eles serão discutidos individualmente a seguir. O texto abaixo pode ser aplicado em bacias de vários tamanhos incluindo grandes bacias hidrográficas.

Sustentabilidade ambiental da pegada hídrica verde

Saberemos se a pegada hídrica verde total de uma bacia é ou não significativa quando ela for relacionada com a quantidade de água verde disponível. A pegada hídrica verde de uma determinada bacia torna-se um ponto crítico ambiental quando ela excede a disponibilidade da água verde. A 'disponibilidade de água verde' (DA_{verde}) em uma bacia x em um determinado período t é definida como a evapotranspiração total da água da chuva (ET_{verde}) menos a soma da evapotranspiração reservada para a vegetação natural (ET_{amb}) e da evapotranspiração das áreas não produtivas:

$$DA_{verde}\,[x,t] = ET_{verde}\,[x,t] - ET_{amb}\,[x,t] - ET_{improd}\,[x,t]\ \text{[volume/tempo]} \quad (51)$$

Todas as variáveis da equação acima são expressas em termos de volume/tempo. A variável ET_{amb} é a 'demanda ambiental de água verde' e se refere à quantidade de água verde

utilizada pela vegetação natural em áreas preservadas da bacia, visando à manutenção da biodiversidade e ao sustento das comunidades que dependem de ecossistemas naturais. A demanda ambiental de água verde pode ser quantificada com base na evapotranspiração das áreas terrestres que precisam ser protegidas do ponto de vista da conservação da natureza (Quadro 4.3). A variável ET_{improd} se refere à evapotranspiração que não pode ser utilizada na produção agrícola, ou seja, a evapotranspiração que ocorre em áreas ou períodos do ano que são inadequados para o desenvolvimento das culturas. Exemplo disso é a evapotranspiração de áreas montanhosas, cuja declividade impede o cultivo; a evaporação que ocorre em áreas construídas ou a que ocorre em períodos muito frios para a produção agrícola (nestes dois últimos, a *ET* geralmente é baixa, por isso o fluxo improdutivo não é tão grande).

Vejamos um exemplo para explicar melhor o conceito da disponibilidade de água verde. Considere uma bacia de 1.000 km^2. Em média, a evapotranspiração anual é de 450 mm, de modo que o total de evapotranspiração (ET_{verde}) da bacia seja de 1.000 km^2 × 450 mm = 450 milhões de m^3. Suponha que estudos tenham comprovado a necessidade de uma reserva natural de 30% da área da bacia para a preservação da biodiversidade e que a evapotranspiração anual média dessa área é de 500 mm. Desse modo, a demanda ambiental de água verde (ET_{amb}) na bacia é de 0,3 × 1.000 km^2 × 500 mm = 150 milhões de m^3. Suponha, ainda, que outros 30% da área da bacia não sejam adequados para o cultivo agrícola (áreas construídas, incluindo estradas e outros tipos de infraestrutura) e que a evapotranspiração média anual nessa área é de 400 mm. A evapotranspiração dessa área improdutiva é de 0,3 × 1.000 km^2 × 400 mm = 120 milhões de m^3. A evapotranspiração anual no restante da bacia é 0,4 × 1.000 km^2 × 450 mm = 180 milhões de m^3. Durante parte do ano, ou seja, durante o inverno o clima não é adequado para a produção agrícola; porém, durante este período, a evapotranspiração é relativamente baixa, em torno de 100 mm. Assim, a evapotranspiração neste período improdutivo na área disponível para o cultivo é de 0,4 × 1.000 km^2 × 100 mm = 40 milhões m^3. Deste modo, a evapotranspiração total na bacia que não pode ser utilizada na produção agrícola (ET_{improd}) é de 120+40=160 milhões m^3. Deste exemplo, fica claro que, embora a evapotranspiração (ET_{verde}) da bacia seja de 450 milhões m^3, a disponibilidade da água verde é de somente 450 – 150 – 160 = 140 milhões de m^3.

Quadro 4.3 *Necessidade ambiental de água verde*

Uma parte significativa do fluxo de evaporação das áreas terrestres precisa ser reservada para a vegetação natural. Quando uma área é conservada (reservada) para a natureza, o fluxo de evapotranspiração fica automaticamente reservado para a natureza, não estando mais disponível para a produção agrícola e para o uso humano. Quando queremos saber a quantidade de água verde disponível que deve ser subtraída da evapotranspiração total para saber a quantidade remanescente para o uso humano, devemos saber quais terras e suas respectivas áreas que deverão ser reservadas para a natureza. Na sua Estratégia

Global para a Conservação de Plantas, a Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB, 2002) formulou metas para o ano de 2010: pelo menos 10% de cada região ecológica mundial devem ser efetivamente conservados e 50% das áreas mais importantes em termos de diversidade vegetal devem ser protegidos. As estimativas referentes ao total de áreas que devem ser reservadas para a natureza podem variar bastante. De acordo com a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD, 1987), pelo menos 12% de todos os tipos de ecossistemas precisarão ser preservados para a proteção da biodiversidade. Noss e Cooperrider (1994) estimaram que, na maioria das regiões, será necessário reservar entre 25% a 75% da terra para proteger a biodiversidade. Svancara et al (2005) compararam mais de 200 áreas-alvo com relação ao percentual de terra a ser conservado para a proteção da biodiversidade, conforme sugerido em vários relatórios, e concluíram que o percentual médio recomendado de áreas para as áreas-alvo, definidas com base em evidências, foi quase três vezes maior do que o percentual recomendado pelas políticas públicas. Reservar 10% a 15% do total de terras para a proteção da biodiversidade, conforme proposto em processos de políticas públicas (tais como CDB, 2002; CMMAD, 1987), não reflete a real necessidade biológica que deveria girar em torno de 25–50 %. A porcentagem deve variar de acordo com a região, dependendo de suas características específicas. Quando os dados referentes a uma bacia específica são limitados recomendamos adotar o valor mínimo de 12% como padrão. Do ponto de vista ecológico, seria mais realista adotar um valor padrão de 30%.

Quando as pessoas falam sobre escassez de água geralmente se referem à escassez da água azul. No entanto, a disponibilidade de água verde também é limitada, ou seja, os recursos de água verde também são escassos. O nível de escassez da água verde em uma bacia x em um período t é definido como a razão entre o total de pegadas hídricas verdes na bacia e a disponibilidade da água verde:

$$EA_{verde}\,[x,t] = \frac{\sum PH_{verde}\,[x,t]}{DA_{verde}\,[x,t]} \qquad [-] \qquad (52)$$

Desta forma, o indicador de escassez da água verde denota, de fato, a 'fração de apropriação' dos recursos disponíveis de água verde. A escassez de água verde pode ser medida diariamente, mas geralmente a medição mensal é suficiente para observar sua variação anual. Quando a escassez de água verde atingir 100% significa que a água verde disponível foi totalmente consumida. A escassez acima de 100% não é considerada sustentável.

Devemos admitir aqui que a questão da análise da escassez da água verde foi pouco explorada. O problema se deve à dificuldade de estimar a 'disponibilidade de água verde'. Faltam dados principalmente sobre a demanda ambiental de água verde (Quadro 4.3) e sobre a quantidade de evapotranspiração improdutiva para a produção agrícola. Essas quantidades limitam severamente a disponibilidade de água verde, por isso, é vital que sejam levadas em consideração; porém, sem o consenso sobre a quantidade de terra (e sobre sua respectiva evapotranspiração) que deve ser reservada para a natureza e sobre como definir, com precisão, quando e onde a evapotranspiração é improdutiva, é impossível fazer uma análise quantitativa. Este é, obviamente, um tema que deve ser pesquisado no futuro. Por enquanto, sugerimos excluir a avaliação quantitativa

da escassez de água verde na definição de diretrizes de políticas públicas, incluindo-a, contudo, em estudos-piloto para explorar a utilidade deste tipo de análise e para buscar uma definição menos ambígua da disponibilidade de água verde.

Observe-se que quando há uma diferença entre as evapotranspirações da vegetação natural e das culturas, a pegada hídrica verde pode afetar a disponibilidade da água azul, embora o efeito em nível de bacia seja usualmente pequeno. De modo geral, este efeito pode ser ignorado (Quadro 4.4).

Quadro 4.4 *O efeito da pegada hídrica verde com relação à disponibilidade de água azul*

A pegada hídrica verde de uma bacia pode gerar uma mudança no padrão de escoamento a jusante. Geralmente, a evapotranspiração da água da chuva de uma área cultivada não será muito diferente da evapotranspiração da mesma área sob condições naturais, mas pode apresentar diferenças significativas durante alguns períodos específicos do ano. Às vezes, a evapotranspiração pode ser menor e outras vezes, maior, levando, respectivamente, ao aumento ou redução do escoamento. Isso significa que uma pegada hídrica *verde* pode afetar a disponibilidade de água *azul*. Foi sugerido o termo 'pegada hídrica verde líquida' para se referir à diferença entre a evapotranspiração de uma cultura e aquela sob condições naturais (SABMiller e WPH-UK, 2009). Esta terminologia, no entanto, não é consistente com a definição básica do conceito de pegada hídrica como um indicador da apropriação de água doce, que exige que os totais sejam observados. Nós recomendamos utilizar o termo 'alteração no escoamento resultante da pegada hídrica verde', ao invés de 'pegada hídrica verde líquida'. A agricultura não é o único processo antrópico que afeta a fração da precipitação que se transforma em escoamento (afetando, assim, a disponibilidade de água azul); outros fatores, tais como a urbanização e outras mudanças na paisagem afetarão o escoamento e, portanto, a disponibilidade de água azul. Estes fatores devem ser considerados ao avaliar a escassez de água azul e suas causas subjacentes. Como a escassez de água azul se refere à razão entre a pegada hídrica azul de uma área e a disponibilidade de água azul, a escassez de água azul pode se tornar maior devido ao aumento da pegada hídrica azul ou à redução da disponibilidade de água azul. Em todas as bacias hidrográficas o aumento histórico da pegada hídrica azul tem sido muito maior do que as mudanças relacionadas à disponibilidade de água azul que, ao considerar a escassez de água azul, pode ser suficiente comparar a alteração da pegada hídrica azul contra o contexto da disponibilidade de água azul, como uma constante geográfica.

Sustentabilidade ambiental da pegada hídrica azul

A pegada hídrica azul total de uma bacia é igual à soma de todas as pegadas hídricas azuis dos processos que ocorrem dentro da bacia. A pegada hídrica azul dentro de um período específico, em uma dada bacia, torna-se um ponto crítico quando ela excede a disponibilidade de água azul. Esta disponibilidade (DA_{azul}) em uma bacia x, em um determinado período t, é definida como o escoamento natural na bacia (Q_{nat}) menos a chamada 'demanda de vazão ambiental' (DVA[2]):

2 N. do T. EFR, na sigla em inglês (Environmental Flow Requirements).

$$DA_{azul}\,[x,t] = Q_{nat}\,[x,t] - DVA[x,t] \quad \text{[volume/tempo]} \tag{53}$$

Quando a pegada hídrica azul excede a disponibilidade de água azul em um determinado período e em uma dada bacia significa que a demanda de vazão ambiental foi violada. As demandas de vazões ambientais devem ser definidas com base na quantidade e na periodicidade das vazões necessárias para sustentar os ecossistemas de água doce e estuarinos, bem como as comunidades que dependem desses ecossistemas. O Anexo V discorre sobre o conceito da demanda de vazão ambiental com mais detalhes. A Figura 4.2 mostra como a pegada hídrica azul durante o ano pode ser comparada com a disponibilidade de água azul no mesmo período. No caso apresentado, as vazões ambientais são desrespeitadas durante um determinado período do ano, mas não no resto do ano. As demandas de vazões ambientais são subtraídas do escoamento natural, não do escoamento real, pois este último já foi afetado pelo consumo de água a montante. O escoamento natural pode ser estimado como o escoamento real mais a pegada hídrica azul na bacia.

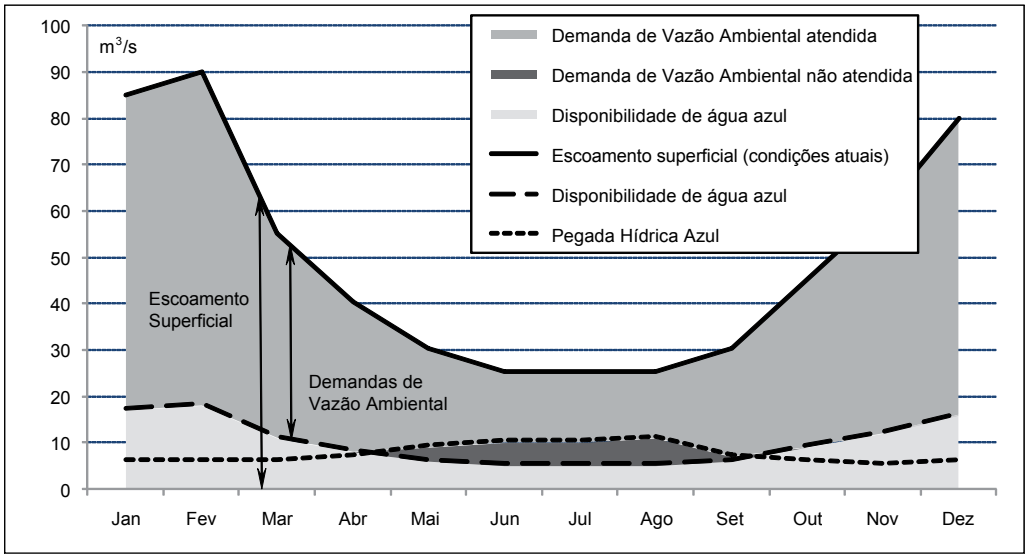


Figura 4.2 *A pegada hídrica azul durante um ano comparada com a disponibilidade de água azul, sendo que a última é igual à vazão (em condições originais) menos as demandas de vazão ambiental*

Quando, em um determinado mês, a pegada hídrica azul numa bacia hidrográfica excede a disponibilidade de água azul, a pegada hídrica azul é insustentável do ponto de vista ambiental, pois as demandas de vazão ambiental são violadas. Há, no entanto, mais critérios a serem considerados. A pegada hídrica azul em uma bacia não afetará somente o fluxo de escoamento, mas também os estoques de água azul na bacia, principalmente os estoques de água subterrânea e o volume de água dos lagos. Portanto, outra maneira de identificar condições insustentáveis é observar o efeito da pegada hídrica azul nos níveis de água subterrânea ou nos lagos da bacia (Quadro 4.5).

Quadro 4.5 *A sustentabilidade da pegada hídrica azul depende de como ela afeta as vazões e as reservas de água azul*

A pegada hídrica azul de uma bacia, definida como um volume durante um determinado período, deve ser comparada com a disponibilidade de água azul na bacia durante o mesmo período. Obviamente, não se deve consumir mais água do que está disponível, num dado período de tempo. Tanto a pegada hídrica azul quanto a disponibilidade de água azul são expressas em termos de volume por tempo e são chamadas, portanto, de 'vazões ou fluxos'. Conforme explicado anteriormente, para avaliar a sustentabilidade ambiental da pegada hídrica azul em uma bacia em um determinado período é necessário comparar a vazão consumida (a pegada hídrica azul) com a disponível (escoamento menos a demanda de vazão ambiental). Além disso, é necessário observar também o efeito da pegada hídrica azul sobre o estoque de água azul (volumes de água estocados no subsolo e nos lagos). Isto pode ser ilustrado com um exemplo simples.

Imagine um lago que é alimentado por um rio de um lado e drenado pelo mesmo rio, do outro lado. Por simplicidade, vamos supor que a precipitação e a evaporação do lago são relativamente pequenas se comparadas à vazão do rio, de modo que a vazão de saída seja igual à de entrada. Suponha agora que a vazão de entrada do rio sofra uma redução de 20%, em razão da pegada hídrica azul total a montante. O nível do lago irá baixar até um nível em que a vazão de saída do lago se iguale à de entrada. Assim, o lago atingirá um novo equilíbrio, apresentando um volume e um nível d'água mais baixos. Quando a vazão de saída do lago depender linearmente do volume ativo do lago (o volume acima da cota do leito do exutório), um decréscimo de 20% na vazão de saída corresponde a um decréscimo de 20% no volume ativo do lago, resultando em certo rebaixamento no nível do lago. A questão agora não é somente se os 20% da *redução na vazão do rio* são sustentáveis, mas também se os 20% do *decréscimo no volume de água do lago* e se o *rebaixamento* correspondente do seu nível, são sustentáveis. O primeiro depende da demanda de vazão ambiental. O segundo depende do 'rebaixamento máximo permitido no nível do lago'. Este, por sua vez, depende da vulnerabilidade do ecossistema lacustre e dos ecossistemas ribeirinhos com relação às alterações no nível da água. Um exemplo semelhante pode ser dado para as reservas de água subterrânea renováveis. A extração líquida de água subterrânea de um aquífero deve permanecer abaixo da disponibilidade de água subterrânea (a taxa de recarga das águas subterrâneas menos a fração da descarga de água subterrânea, necessária para sustentar a vazão ambiental no rio). Além disso, é necessário observar o modo como as extrações de água subterrânea afetam o nível do lençol freático. A sustentabilidade de uma determinada redução no nível de água subterrânea depende do 'declínio máximo permitido do nível do lençol freático' que, por sua vez, depende da vulnerabilidade do ecossistema terrestre em relação às alterações nesse nível. Vale observar que, ao medir a redução no nível da água subterrânea e dos lagos é importante ter cautela ao distinguir as causas naturais e a interferência antrópica. As variações intra e interanuais nos níveis de lagos e lençóis freáticos são naturais e relacionadas à variabilidade climática. Antes de atribuir a redução do nível da água subterrânea ou do lago à pegada hídrica azul da bacia é importante verificar se a queda não ocorreu devido a mudanças nos parâmetros climáticos, durante o período considerado. Semelhante às demandas de vazão ambiental, os declínios máximos permitidos nos níveis do lago e da água subterrânea variam de acordo com o contexto e devem ser estimados separadamente por bacia.

Para avaliar a sustentabilidade da pegada hídrica azul em uma bacia é necessário, portanto, compará-la com a disponibilidade de água azul e avaliar se os níveis de lagos ou do lençol freático permanecem dentro de seus 'limites de sustentabilidade' (Richter, 2010). A água fóssil é um caso à parte. Quando a pegada hídrica azul é baseada em água fóssil, cada gota de água consumida será subtraída do estoque disponível de água subterrânea fóssil. O consumo de água subterrânea fóssil é sempre considerado como depleção e é, por definição, totalmente insustentável.

A 'escassez de água azul' em uma bacia x (EA_{azul}) é definida pela razão entre a soma das pegadas hídricas azuis totais na bacia (ΣPH_{azul}) e a disponibilidade de água azul (DA_{azul}):

$$EA_{azul}[x,t] = \frac{\sum PH_{azul}[x,t]}{DA_{azul}[x,t]} \qquad [-] \tag{54}$$

Uma escassez de água azul de 100% significa que a água azul disponível foi totalmente consumida. Uma escassez de água azul acima de 100% não é sustentável. A escassez de água azul depende do tempo; ela varia dentro de um mesmo ano e de um ano para outro. A medição pode ser realizada diariamente, mas a medição *mensal* é geralmente suficiente para conhecer a variação ao longo do ano. Na Figura 4.2, observa-se que a medição anual da escassez de água azul não é tecnicamente interessante. No exemplo dado nota-se que durante cinco meses do ano (maio–setembro) a escassez de água é superior a 100%. Durante os outros sete meses, a escassez de água permanece abaixo dos 100%. No exemplo em tela, a média dos valores mensais de escassez de todos os meses do ano na bacia resulta em um valor de escassez da água azul que excede ligeiramente os 100%. Se compararmos a pegada hídrica azul anual com a disponibilidade anual de água azul obteremos um valor de 75%, valor este que omite o fato de que as vazões ambientais são violadas durante cinco meses do ano, ou seja, durante todo o período de estiagem!

Vale ressaltar que a escassez da água azul, conforme definida aqui, é um conceito físico e ambiental. É físico porque compara o volume consumido com o volume disponível e é ambiental porque considera as demandas de vazões ambientais. Ela não é um indicador de escassez econômica, pois neste caso seriam utilizados valores monetários para expressar a escassez. Além disso, o indicador de escassez da água azul conforme definido acima difere dos indicadores convencionais de escassez de água em várias formas e, basicamente, tenta aperfeiçoar suas deficiências (Quadro 4.6).

Quadro 4.6 *Como a 'escassez de água azul', definida nos estudos relacionados à pegada hídrica, difere dos indicadores convencionais de escassez de água*

Os indicadores de escassez de água são sempre baseados em dois componentes básicos: a medida do uso e a medida da disponibilidade da água. O indicador mais comum da escassez de água azul é a relação das captações anuais de água em uma determinada área com o escoamento anual total dessa área, também conhecido como nível de uso da água (Falkenmark, 1989), como a relação captação / disponibilidade (Alcamo e Henrichs, 2002), ou como a relação uso / recurso disponível (Raskin et al, 1996). Encontram-se aqui quatro críticas para estas abordagens. Primeiro, a captação da água não é o melhor indicador do uso da água quando se quer conhecer o efeito da retirada na escala da bacia como um todo, pois parte da água captada retorna para a bacia (Perry, 2007). Além disso, faz mais sentido expressar o uso da água azul em termos de uso consuntivo de água, ou seja, considerando a pegada hídrica azul. Segundo, o escoamento total não é o melhor indicador da disponibilidade da água, pois ignora o fato de que parte do escoamento precisa ser mantida para o meio ambiente. Assim, é melhor subtrair a demanda de vazão ambiental do escoamento total (Smakhtin et al, 2004; Poff et al, 2010). Terceiro, comparar o uso da água com o escoamento atual de uma bacia pode se tornar um problema se o escoamento tiver diminuído substancialmente devido ao uso da água dentro da bacia. Faz mais sentido comparar o uso da água com o escoamento *natural* da bacia, ou seja, o escoamento que ocorre sem o uso consuntivo da água na bacia. Por fim, considerar a escassez da água através da comparação dos valores *anuais* de uso e de disponibilidade da água não é muito preciso (Savenije, 2000). Na verdade, a escassez de água se manifesta mais na escala mensal do que na escala anual, devido às variações intra-anuais que ocorrem tanto no uso como na disponibilidade de água. No contexto dos estudos da pegada hídrica a 'escassez de água' em uma bacia é definida de tal forma que os quatro pontos fracos acima são sanados.

Sustentabilidade ambiental da pegada hídrica cinza

O efeito da pegada hídrica cinza total depende do escoamento disponível na bacia para assimilar os efluentes. Uma pegada hídrica cinza em um período específico em uma dada bacia torna-se um ponto crítico quando os padrões de água em seu estado natural naquele período e naquela bacia são violados, ou seja, quando a capacidade de assimilação de resíduos for totalmente consumida.

Como um indicador relevante de impacto local pode-se calcular o 'nível de poluição da água' (*NPA*) em uma bacia, que mede o grau de poluição. Ele é definido como a fração consumida da capacidade de assimilação de efluentes e calculado pela razão entre o total das pegadas hídricas cinza (ΣPH_{cinza}) e o escoamento real de uma bacia (Q_{real}). Um nível de poluição de água de 100% indica que a capacidade de assimilação de resíduos foi totalmente utilizada. Quando o nível de poluição excede os 100%, os padrões de qualidade da água em seu estado natural são violados. O nível de poluição da água é calculado para uma bacia x e tempo *t*, conforme segue:

$$NPA[x,t] = \frac{\sum PH_{cinza}[x,t]}{Q_{real}[x,t]} \qquad [-] \qquad (55)$$

Tanto a pegada hídrica cinza quanto o escoamento sofrem variações no decorrer do ano, ou seja, o nível de poluição da água também apresenta variações ao longo do ano. Na maioria dos casos, o cálculo mensal pode ser suficiente para representar a variação temporal, mas se houver necessidade, pode-se fazer o cálculo para um período menor. É possível calcular o nível de poluição da água em bacias maiores e/ou menores. A desvantagem de se avaliar o nível de poluição da água em bacias relativamente grandes de uma só vez é que a média é calculada para toda a bacia, o que significa que o resultado não será capaz de demonstrar as diferenças nos níveis de poluição dentro da bacia. Há um exemplo que ilustra esta situação no Anexo IV.

Resumidamente, os indicadores da escassez das águas verde e azul e do nível de poluição da água foram definidos de modo que, quando os valores excedem 100% refletem condições insustentáveis e indicam pontos críticos ambientais. Um ponto crítico ambiental é definido como um período de tempo, em uma dada bacia, em que as demandas de águas verde ou azul ou os padrões de qualidade da água em seu estado natural são violados.

4.2.3 Critérios de sustentabilidade social para identificar pontos críticos sociais

A pegada hídrica total de uma bacia é insustentável do ponto de vista social e torna-se um ponto crítico social, quando as necessidades básicas das pessoas que vivem na bacia não são satisfeitas ou quando regras básicas de equidade não são cumpridas, desde que a pegada hídrica da bacia esteja parcialmente relacionada a estas questões. As necessidades básicas do homem relacionadas à água incluem o fornecimento seguro de uma quantidade mínima de água doce para beber, lavar e cozinhar (ONU, 2010b), e uma alocação mínima de água para a produção de alimentos a fim de assegurar um nível suficiente de abastecimento alimentar para todos. O 'direito à água para alimentação' ainda não foi formalmente estabelecido, mas o alimento em si já foi assegurado como um direito do homem na Declaração Universal de Direitos Humanos (ONU, 1948). Outra necessidade humana básica é o emprego que pode ser ameaçado quando, por exemplo, pescadores a jusante são afetados pela poluição ocorrida a montante. Regras básicas de equidade incluem os princípios 'usuário-pagador' e 'poluidor-pagador'. Não é justo e, portanto, não é sustentável o fato de algumas pessoas a montante gerarem uma pegada hídrica azul ou cinza que resulta em problemas para as pessoas que vivem a jusante e estas não serem apropriadamente compensadas pelos usuários e poluidores de água a montante. Outra regra básica de equidade é o uso justo de bens públicos. Já que a água doce é basicamente um bem público pode ser injusto, por exemplo, quando alguns usuários consomem mais do que uma cota razoável de um aquífero ou de um lago. Um exemplo disso ocorre quando os grandes agricultores cavam poços profundos para irrigar suas plantações, dificultando, assim, o acesso à água por parte dos pequenos agricultores situados em áreas próximas.

As necessidades humanas e as regras básicas de equidade são critérios difíceis de quantificar por não terem limites nítidos. Definir se as necessidades humanas básicas relacionadas à água ou se as regras básicas de equidade em uma determinada

bacia foram desrespeitadas ou não dependerão de uma avaliação especializada. A existência de conflitos em relação à água pode ser uma indicação prática (Gleick, 2010; Universidade Estadual de Oregon, 2010). Na realidade, os conflitos sociais em relação à água geralmente ocorrem simultaneamente aos conflitos ambientais. Portanto, a identificação de pontos críticos ambientais também irá gerar uma lista de possíveis pontos críticos sociais.

4.2.4 Critérios de sustentabilidade para identificar pontos críticos econômicos

A pegada hídrica total de uma bacia é economicamente insustentável e gera um ponto crítico quando a água não é alocada e usada de maneira eficiente do ponto de vista econômico. Os benefícios de uma pegada hídrica (verde, azul ou cinza) que resulta do uso da água para um determinado fim devem exceder o custo total associado a essa pegada hídrica incluindo as externalidades, os custos de oportunidade e os custos de escassez de água. Em uma bacia a água deve ser alocada eficientemente do ponto de vista econômico para seus diferentes usuários (eficiência de alocação), e cada usuário deve usar a água alocada para si de modo igualmente eficiente (eficiência produtiva). Quando o valor cobrado pela água é menor do que o seu custo econômico real geralmente ocorre um uso ineficiente por parte do usuário; assim, o grau de cobrança do custo econômico total do usuário da água pode ser um indicador.

4.2.5 Avaliando os impactos primários e secundários nos pontos críticos identificados

Através dos pontos críticos sabemos em que bacias e em que períodos do ano a escassez e a poluição da água são conflitantes com os critérios ambientais, sociais e econômicos de sustentabilidade. Também conhecemos o nível de gravidade dos pontos críticos, pois quanto maiores forem a escassez de água verde ou azul, ou o nível de poluição da água, maiores serão os problemas. Após localizar os pontos críticos e definir o nível de gravidade de cada um deles é possível avaliar os impactos primários e secundários por ponto crítico mais detalhadamente, se isto estiver definido no escopo da avaliação.

Os impactos primários nos pontos críticos podem ser mostrados em diferentes níveis de detalhe. É possível aplicar um modelo simples de balanço hídrico, um modelo hidrológico avançado, fisicamente embasado ou uma abordagem intermediária para estimar o efeito das pegadas hídricas verde e azul sobre a hidrologia da bacia. Existem, ainda, diversos modelos de qualidade de água disponíveis, desde modelos simples que necessitam de poucos dados até modelos avançados que necessitam de uma grande quantidade de dados. As variáveis de impacto primário mais importantes são: o escoamento superficial e os níveis d'água associados e alguns parâmetros de qualidade da água relevantes para o caso analisado. Para terem significado prático todas as variáveis devem ser comparadas com linhas de base de quantidade e qualidade da água. Como linha de base pode-se tomar as condições naturais da bacia em seu estado original. Isso possibilita visualizar o impacto total causado pelo homem.

Quando falamos em avaliação dos impactos secundários das pegadas hídricas verde, azul e cinza, entramos em um tema onde já existe muita literatura disponível embora ainda seja um grande desafio a estruturação de uma avaliação de impactos ambientais, sociais ou econômicos. Para uma avaliação mais ampla é possível distinguir explicitamente os impactos ambientais, sociais e econômicos. Geralmente, a primeira questão é identificar quais variáveis de impacto devem ser levadas em consideração. A literatura especializada fornece longas listas de variáveis a serem incluídas na análise. As variáveis ambientais geralmente incluem parâmetros como a abundância de certas espécies, a biodiversidade e a perda de habitat. As variáveis sociais geralmente incluem saúde, emprego, bem-estar e segurança alimentar. As variáveis econômicas incluem a distribuição de renda nos diferentes setores da economia (no caso da redução das vazões ou da deterioração da qualidade da água, setores específicos como pesca, turismo, hidrelétricas e navegação podem ser prejudicados). É sempre um desafio medir as variáveis de impactos secundários. Após optar por uma lista de variáveis de impactos secundários a questão seguinte é como traduzir os impactos primários (alterações nas vazões e na qualidade da água) em estimativas confiáveis dos impactos secundários. Podem ser utilizados modelos, consultas de especialistas e abordagens participativas para atingir esse objetivo. Recomendamos que seja consultada a ampla e diversa literatura existente sobre avaliação de impactos.

4.3 Sustentabilidade da pegada hídrica de um processo

A pegada hídrica de um processo específico é sustentável ou não dependendo de dois critérios:

1. **Contexto geográfico**: a pegada hídrica de um processo é insustentável quando o processo ocorre em um ponto crítico, isto é, em uma determinada área e/ou em um determinado período do ano no qual a pegada hídrica total é insustentável, sob o ponto de vista ambiental, social ou econômico.
2. **Características do próprio processo:** a pegada hídrica de um processo é insustentável por si só – independente do contexto geográfico – quando ela pode ser reduzida ou totalmente evitada (a um custo social aceitável).

Os dois critérios devem ser avaliados separadamente para as pegadas hídricas verde, azul e cinza. O primeiro critério implica que, quando a pegada hídrica de um processo contribui para um ponto crítico no qual a pegada hídrica *total* é insustentável, a pegada hídrica deste processo também é insustentável. Enquanto a pegada hídrica total de uma bacia em um período específico for insustentável toda contribuição específica deve ser considerada insustentável, mesmo que seja relativamente pequena. Isso é baseado no reconhecimento de que há um risco e uma responsabilidade compartilhados. Se a pegada hídrica total de uma bacia é insustentável – por exemplo, quando a pegada hídrica azul excede a disponibilidade de água azul – não é possível

isolar um componente do problema global já que é o total que cria o problema. Quando a pegada hídrica de um processo contribui para existência de um ponto crítico ela é insustentável porque faz parte de uma situação insustentável. Os modos de definição dos pontos críticos nas perspectivas ambiental, social e econômica foram amplamente discutidos na seção anterior. Por isso, nesta seção, detalharemos apenas o segundo critério.

A pegada hídrica verde, azul ou cinza de um processo é insustentável por si só quando pode ser evitada ou reduzida através de tecnologia aperfeiçoada a custos sociais aceitáveis. Isto se aplica tanto a bacias onde há escassez hídrica quanto a bacias onde há abundância de água. Muitos processos podem ser aperfeiçoados ou substituídos por outros processos que tenham pouca ou nenhuma pegada hídrica a um custo social razoável ou mesmo gerando algum benefício social. Tendemos a pensar que para diminuir as pegadas hídricas é necessário investir (tratamento de efluentes, técnicas de irrigação mais eficientes, medidas para promover o uso mais eficiente da água da chuva), mas geralmente este é um ponto de vista restrito de quem deve inicialmente investir nas medidas necessárias. Em uma perspectiva mais ampla quando são internalizadas as externalidades econômicas e ambientais impostas pela sobrexplotação e poluição dos recursos hídricos a redução da pegada hídrica geralmente resultará em um benefício social, ou terá, no máximo, um custo social razoável.

A maioria das formas de poluição da água é desnecessária e pode ser evitada. Portanto, quase todos os processos que resultam em uma pegada hídrica cinza são insustentáveis. Muitos processos com pegada hídrica azul também são insustentáveis. Nas indústrias a pegada hídrica azul só não pode ser evitada quando a água precisa ser incorporada em um produto, mas as pegadas hídricas azuis que se referem à evaporação da água em processos industriais geralmente podem ser evitadas através da recaptura da água. Um processo insustentável é, por exemplo, a refrigeração sem a captura da água evaporada para reúso. Na agricultura, as pegadas hídricas azuis são insustentáveis quando são utilizadas técnicas de irrigação ineficientes que geram uma evaporação adicional desnecessária.

Os processos descritos como 'insustentáveis' não são, necessariamente, a causa de problemas imediatos de escassez ou poluição da água em uma bacia hidrográfica (por exemplo, quando há poucos usuários da água de modo que a demanda de vazões ambientais ainda é respeitada e a capacidade de assimilação de efluentes não foi totalmente consumida), mas mesmo assim não são sustentáveis, pois consomem água desnecessariamente e reduzem a capacidade de assimilação de efluentes. Quando as pegadas hídricas verde e azul são desnecessariamente grandes em áreas onde há abundância de água isto geralmente indica que a produtividade da água é baixa, ou seja, baixa produção por volume de água consumido. Isso é insustentável já que a produtividade da água deve aumentar em áreas com abundância de recursos hídricos objetivando diminuir a necessidade da produção de bens com uso intensivo de água em áreas de escassez hídrica.

Infelizmente, ainda não existem critérios claros para determinar se um processo é, em si, insustentável, de modo que até o momento dependemos do julgamento

de especialistas usando as técnicas disponíveis. Referências globais precisam ser desenvolvidas para permitir a comparação da pegada hídrica de um processo específico com uma referência global do processo. Essa referência deve indicar a pegada hídrica máxima 'razoável' por unidade de produto final resultante de um processo que deve ser expressa separadamente para as pegadas hídricas verde, azul e cinza.

4.4 A sustentabilidade da pegada hídrica de um produto

4.4.1 Identificando os componentes insustentáveis da pegada hídrica de um produto

A pegada hídrica de um produto é a soma das pegadas hídricas das etapas de processo necessárias para elaborar o produto (veja Seções 3.2 e 3.4). Portanto, a sustentabilidade da pegada hídrica do produto depende da sustentabilidade das pegadas hídricas das diversas etapas do processo. Cada etapa do processo ocorre em uma ou mais bacias hidrográficas, geralmente em um período específico do ano. Assim, a pegada hídrica global de um produto consiste de muitos componentes separados, cada um referente a um processo específico, ocorrendo em um período específico do ano em uma determinada bacia. Em termos de sustentabilidade cada componente da pegada hídrica de um produto pode ser avaliado separadamente com base em dois critérios:

1. O componente da pegada hídrica está localizado em uma bacia e em um período do ano identificados como um ponto crítico?
2. A pegada hídrica do processo é insustentável em si, ou seja, a pegada hídrica pode ser totalmente evitada ou reduzida a um custo social razoável?

Este procedimento deve ser conduzido separadamente para as componentes verde, azul ou cinza da pegada hídrica do produto. O procedimento é ilustrado na Tabela 4.1, que mostra um produto hipotético. Seu sistema de produção é composto por um processo de seis etapas. Alguns destes processos ocorrem em mais de uma bacia. Os dois critérios acima são aplicados separadamente para cada componente da pegada hídrica. Alguns componentes têm pontuação negativa em um critério; alguns têm pontuação negativa em outro critério; outros têm duas pontuações negativas e alguns outros têm duas pontuações positivas. Os dois critérios de sustentabilidade geográfica e de sustentabilidade do processo são complementares entre si. Isso significa que cada componente da pegada hídrica de um produto pode ser insustentável pelo fato de contribuir para uma situação geograficamente insustentável (um ponto crítico) ou por ser um processo insustentável em si.

Após avaliar a sustentabilidade da pegada hídrica de um produto, a conclusão final pode ser descrita como "x por cento da pegada hídrica do produto é insustentável". É possível apontar quais são os componentes insustentáveis na pegada hídrica global

Tabela 4.1 *Exemplo de como avaliar até onde a pegada hídrica de um produto é sustentável, com base em dois critérios: sustentabilidade geográfica das pegadas hídricas nas bacias hidrográficas em que os passos do processo estão localizados e a sustentabilidade dos próprios passos do processo. Os componentes prioritários na pegada hídrica de um produto podem ser identificados com base nos componentes que são considerados insustentáveis e na proporção de um componente na pegada hídrica total do produto. A tabela precisa ser preenchida separadamente para as pegadas hídricas verde, azul e cinza do produto*

Informações derivadas do cálculo da pegada hídrica do produto			***Verificar a sustentabilidade da pegada hídrica total na bacia onde esse processo ocorre***	***Verificar a sustentabilidade da pegada hídrica do processo em si***	***Conclusão***		***Verificar a relevância sob a perspectiva do produto***	***Verificar se há necessidade de intervenção***
Etapa do processo	***Bacia onde está localizado o processo***	***Pegada hídrica (m^3 por unidade de produto final)***	***A bacia é um ponto crítico?***	***A pegada hídrica pode ser reduzida ou evitada?***	***Este é um componente sustentável da pegada hídrica do produto?***	***Fração da pegada hídrica do produto que não é sustentável***	***Percentagem acima do limite de 1%[c]***	***Este é um componente importante?***
1	A	45	não	não	sim		sim	não
	B	35	**sim**	**sim**	**não**	35%	sim	**sim**
2	A	10	não	não	sim		sim	não
3	C	6	não	não	sim		sim	não
	D	2	**sim**	não	**não**	2%	sim	**sim**
	E	1,1	não	**sim**	**não**	1,1%	sim	**sim**
4	F	0,5	**sim**	não	**não**	0,5%	não	não
5	A	0,3	não	não	sim		não	não
6	A	0,1	não	**sim**	**não**	0,1%	não	não
total		100				**38,7%**		

[a] O sistema de elaboração do produto é composto por um número sequencial ou paralelo de etapas de processos (veja Seção 3.4.2).

[b] Uma etapa do processo (por exemplo, o cultivo de uma cultura específica que é um componente do produto em questão) pode estar localizado em bacias diferentes.

[c] A escolha do limite pode ser objeto de discussão.

e explicar porque esses componentes são insustentáveis: seja porque se referem a uma pegada hídrica que pode ser evitada ou reduzida a um custo social razoável ou porque contribuem para a formação de um ponto crítico (ou ambos). Os componentes insustentáveis da pegada hídrica de um produto necessitam de intervenções para melhorar sua situação. Baseado na fração de um determinado componente da pegada hídrica na pegada hídrica total do produto é possível definir as prioridades de ação. Outra opção é ignorar completamente os componentes insustentáveis que contribuem com uma fração insignificante (por exemplo, 1%) para a pegada hídrica global do produto. A priorização também pode ser feita com base na gravidade dos diversos pontos críticos para os quais os diferentes componentes insustentáveis da pegada hídrica contribuem ou, ainda, com base nas ações mais fáceis e/ou que forneçam resultados mais rápidos.

Quanto aos processos individuais também é necessário desenvolver valores de referência para os distintos produtos. Isso possibilita comparar a pegada hídrica de um produto específico com um valor de referência global para aquele produto que se refere a uma 'pegada hídrica máxima aceitável por unidade do produto'. Esta última pode ser considerada como a soma das pegadas hídricas máximas aceitáveis que foram estabelecidas anteriormente para cada passo do processo no sistema de elaboração do produto.

4.4.2 Índices de impacto da pegada hídrica que refletem impactos ambientais locais

Uma avaliação detalhada da sustentabilidade da pegada hídrica do produto, como mostra resumidamente a Tabela 4.1, é útil para identificar os pontos mais críticos e formular medidas mitigadoras apropriadas. Para alguns fins, principalmente para realizar uma avaliação do ciclo de vida (ACV), é desejável resumir as informações sobre a sustentabilidade da pegada hídrica de um produto em um ou vários índices. O objetivo das ACVs é avaliar o impacto ambiental global dos produtos; os impactos no uso dos recursos hídricos e na qualidade da água são apenas dois tipos de impactos ambientais entre tantos outros. Nas ACVs todos os impactos devem ser expressos em índices únicos o que requer o agrupamento de informações específicas.

Os recursos de água doce no mundo são limitados e, em muitos lugares, já foram sobreutilizados. Medir o uso dos recursos hídricos em função do consumo e da poluição da água em termos de volumes deve ser, portanto, um elemento-chave da ACV. As pegadas hídricas verde, azul e cinza de um produto são bons indicadores do consumo total de recursos hídricos e da utilização da capacidade de assimilação de efluentes relacionados ao produto. Portanto, as pegadas hídricas verde, azul e cinza de um produto podem ser utilizadas como indicadores nas ACVs. No entanto, além da relevância do *volume de água doce apropriado*, também é interessante considerar os *impactos ambientais locais* relacionados a essa apropriação. Este impacto ambiental local depende da escassez e do nível de poluição da água nas bacias onde a pegada hídrica do produto está localizada. Como um indicador dos impactos ambientais locais da pegada hídrica de um produto é possível utilizar os índices de impacto da pegada hídrica conforme descritos nesta seção. Recentemente, os pesquisadores de ACVs se concentraram fortemente nesses impactos ambientais locais referentes ao uso da água ignorando a questão maior da escassez global de água (Pfister e Hellweg, 2009;

Ridoutt e Pfister, 2010). Enfatizamos aqui que esses impactos locais são somente parte das questões hídricas. A questão relativa à quantidade total de água utilizada em um produto é tão ou mais relevante. Quando dois produtos têm a mesma pegada hídrica, eles apresentam demandas semelhantes sobre os limitados recursos hídricos do planeta, apesar disso, quando produzidos em dois lugares diferentes, o impacto ambiental local pode ser diferente.

Quando um determinado produto contribui para a pegada hídrica azul total de uma bacia o impacto dessa pegada hídrica específica depende de dois fatores: (i) o tamanho da sua pegada hídrica azul e (ii) o grau de escassez de água azul na bacia. O mesmo raciocínio pode ser adotado para a pegada hídrica verde. De modo similar, quando um determinado produto contribui para a pegada hídrica cinza total de uma bacia o seu impacto vai depender de: (i) o tamanho da sua pegada hídrica cinza específica e (ii) do nível de poluição da água na bacia.

A pegada hídrica é uma medida volumétrica que indica o consumo e a poluição da água doce no tempo e no espaço. As pegadas hídricas fornecem informações relevantes sobre como os recursos hídricos são alocados para os diferentes fins. A pegada hídrica de um produto mostra a 'água alocada' para aquele produto. A água alocada para um produto não pode ser alocada para outro produto. Em termos de apropriação de água doce uma pegada hídrica azul de um metro cúbico é sempre equivalente a outra pegada hídrica azul de um metro cúbico, embora a primeira possa estar localizada em uma bacia onde há escassez de água, enquanto a última pode ocorrer em uma bacia com abundância de água. Para o quadro global de apropriação de água doce, realmente não importa qual das pegadas hídricas está localizada na bacia onde há escassez de água, já que o oposto poderia ter ocorrido no exemplo anterior. Assim, as duas pegadas hídricas têm o mesmo impacto sobre a apropriação total de água doce. O volume de água apropriado por um processo ou produto fornece informações importantes sobre a questão da alocação de água, mas não fornece informação sobre sua possível contribuição para um problema imediato de escassez de água ou de poluição na bacia onde ocorre. Em termos de impacto local, uma pegada hídrica azul de $1m^3$ não é necessariamente equivalente a outra pegada hídrica azul de $1m^3$, pois uma pode ocorrer em uma bacia onde as demandas de vazões ambientais são violadas, enquanto a outra pode acontecer em uma bacia onde isso não ocorre.

Para conseguir visualizar o impacto local é necessário colocar a pegada hídrica azul de um produto específico no contexto da escassez de água azul na bacia onde ocorre a pegada. De maneira similar, a pegada hídrica verde deve ser considerada no contexto da escassez de água verde. A pegada hídrica cinza de um produto específico em uma bacia precisa analisada no contexto do nível de poluição da água na bacia.

O 'índice de impacto da pegada hídrica verde' ($IIPH_{verde}$) é uma medida agregada e ponderada do impacto ambiental de uma pegada hídrica verde. É baseado em duas informações de entrada: (i) a pegada hídrica verde de um produto específico na bacia x e por mês t ($PH_{verde}[x,t]$) e (ii) a escassez de água verde por bacia e por mês ($EA_{verde}[x,t]$). O índice é obtido pela multiplicação das duas matrizes e a soma, em seguida, dos elementos da matriz resultante. O resultado pode ser interpretado como uma pegada hídrica verde ponderada segundo a escassez de água verde nos locais e períodos onde ocorrem os diversos componentes da pegada hídrica verde.

$$IIPH_{verde} = \Sigma_x \Sigma_t (PH_{verde}\,[x,t] \cdot EA_{verde}\,[x,t]) \qquad [-] \qquad (56)$$

O 'índice de impacto da pegada hídrica azul' ($IIPH_{azul}$) é uma medida agregada e ponderada do impacto ambiental de uma pegada hídrica azul.É baseado em duas informações: (i) a pegada hídrica azul de um produto específico na bacia x e por mês t ($PH_{azul}[x,t]$) e (ii) a escassez de água azul por bacia e por mês ($EA_{azul}[x,t]$). Como no caso da pegada hídrica verde, o índice é obtido pela multiplicação das matrizes e posterior soma dos elementos da matriz resultante. O resultado pode ser interpretado como uma pegada hídrica azul ponderada segundo a escassez de água azul nos locais e períodos onde ocorrem os diversos componentes da pegada hídrica azul.

$$IIPH_{azul} = \Sigma_x \Sigma_t (PH_{azul}\,[x,t] \cdot EA_{azul}\,[x,t]) \qquad [-] \qquad (57)$$

O 'índice de impacto da pegada hídrica cinza' ($IIPH_{cinza}$) é uma medida agregada e ponderada do impacto ambiental de uma pegada hídrica cinza. É baseado em duas informações: (i) a pegada hídrica cinza de um produto específico na bacia x e por mês t ($PH_{cinza}[x,t]$) e (ii) o nível de poluição da água por bacia e por mês ($NPA[x,t]$). O índice é obtido pela multiplicação das matrizes e posterior soma dos elementos da matriz resultante. O resultado pode ser interpretado como uma pegada hídrica cinza ponderada segundo o nível de poluição da água nos lugares e períodos onde ocorrem os diversos componentes da pegada hídrica cinza.

$$IPH_{cinza} = \Sigma_x \Sigma_t (PH_{cinza}\,[x,t] \cdot NPA[x,t]) \qquad [-] \qquad (58)$$

Os três índices de impacto da pegada hídrica se referem a diferentes tipos de uso da água que não são comparáveis. Para obter-se um índice geral do impacto da pegada hídrica pode-se simplesmente somar os três índices acima. Como a escassez de água verde é geralmente menor que a escassez de água azul, as pegadas hídricas verdes contarão menos do que as pegadas hídricas azuis.

Cabe ressaltar que os índices de impacto apresentados aqui têm um valor limitado. A razão para isso é que as informações mais relevantes para as ações de resposta estão contidas nas variáveis subjacentes. É importante saber o tamanho e a cor de uma pegada hídrica, quando e onde ela ocorre e em que contexto (grau de escassez, nível de poluição da água). Agregar essas informações em três índices ou sintetizar os três em um índice geral significa que a informação detalhada estará encoberta. O que resulta é uma impressão superficial do impacto ambiental local de uma pegada hídrica como um todo que pode ser útil quando há necessidade de uma comparação aproximada com o impacto local de outra pegada hídrica, porém não tem utilidade na formulação de medidas de resposta específicas. Vale ressaltar, ainda, que esses índices de impacto

da pegada hídrica consideram somente os impactos ambientais e não os impactos sociais ou econômicos. Além disso, eles indicam os impactos em nível de bacia; em termos de uso sustentável da água, as medidas volumétricas fornecidas pelo indicador de pegada hídrica são mais úteis. No entanto, os índices apresentados aqui são úteis para as ACVs que necessitam de índices de impactos altamente integrados.

Os índices de impacto da pegada hídrica servem apenas como indicadores iniciais do impacto ambiental no nível da bacia; os índices agregados não contêm informações espaciais ou temporais. Para a formulação de medidas de resposta adequadas é mais importante identificar pontos críticos, conforme explicado anteriormente, do que calcular índices agregados de impactos da pegada hídrica. Vale ressaltar também que os índices de impacto discutidos aqui visam a medição dos impactos ambientais em nível da bacia; para avaliar a alocação sustentável da água os índices que refletem impactos locais não têm utilidade. Para este fim, é melhor adotar o cálculo volumétrico da pegada hídrica já que a alocação se refere à divisão de recursos escassos e não a impactos locais.

4.5 A sustentabilidade da pegada hídrica de uma empresa

A pegada hídrica de uma empresa equivale à soma das pegadas hídricas dos produtos finais que a empresa produz (ver Seções 3.2 e 3.10). Portanto, é necessário avaliar primeiramente a sustentabilidade das pegadas hídricas dos produtos elaborados pelo produtor e depois avaliar a sustentabilidade da pegada hídrica da empresa. Esta é uma etapa secundária, pois os resultados referentes à sustentabilidade das pegadas hídricas de cada produto da empresa podem oferecer uma conclusão imediata sobre a sustentabilidade da pegada hídrica da mesma. Suponha que uma empresa produza dois produtos finais e que três quartos da pegada hídrica da empresa estejam relacionados a um produto e um quarto ao outro. Descobriu-se que um terço da pegada hídrica do primeiro não é sustentável e que a pegada hídrica do segundo é insustentável como um todo. Neste caso, decorre que (3/4×1/3+1/4×1) = 50% da pegada hídrica da empresa como um todo são insustentáveis. As avaliações de sustentabilidade da pegada hídrica dos dois produtos podem servir de base para identificar os processos que são responsáveis pelos componentes insustentáveis na pegada hídrica da empresa e para identificar em quais bacias esses processos estão localizados.

4.6 A sustentabilidade da pegada hídrica de um consumidor

A pegada hídrica de um consumidor é igual à soma das pegadas hídricas dos produtos utilizados pelo consumidor. Portanto, a sustentabilidade da pegada hídrica de um consumidor depende da sustentabilidade das pegadas hídricas dos produtos utilizados por ele. Pode-se simplesmente aplicar o método descrito na Seção 4.4 para todos os produtos utilizados. Dessa forma, é possível definir a sustentabilidade de cada componente da

pegada hídrica de um consumidor. Porém, para avaliar a sustentabilidade da pegada hídrica de um consumidor a estimativa da sustentabilidade de todos os componentes da pegada hídrica não é suficiente. É necessário observar a pegada hídrica como um todo. Portanto, um segundo critério deve ser aplicado. A sustentabilidade da pegada hídrica de um consumidor também depende do maior ou menor tamanho da pegada hídrica desse consumidor em relação à "porção justa" de um indivíduo dadas as limitações da pegada hídrica total da humanidade.

A pegada hídrica de muitos consumidores será controlada por poucos componentes apenas. No caso das pessoas que consomem carne, geralmente será a pegada hídrica do consumo da carne (Hoekstra, 2010b). No caso dos consumidores com uma pegada hídrica relativamente grande pode-se tentar identificar os produtos que mais contribuem para isso. Estes produtos são geralmente artigos 'não essenciais', que não fazem parte das necessidades básicas do ser humano e que estão associados com uma pegada hídrica relativamente grande. A alocação de água em larga escala para artigos 'não essenciais' pode ser feita em detrimento da oferta de água ao meio ambiente ou para a produção de alimentos básicos. Além da carne, há outros exemplos de produtos 'não essenciais' com pegadas hídricas relativamente grandes, como é o caso dos cosméticos de origem agrícola e a produção primária de biodiesel ou bioetanol. Estes produtos não são imediatamente insustentáveis quando produzidos em uma escala limitada, desde que a produção não ocorra em bacias consideradas pontos críticos, mas tornam-se insustentáveis a partir do momento que a alocação de recursos hídricos para esses produtos, em escala global, prejudica a alocação dos recursos hídricos globais escassos para atividades relacionadas a necessidades básicas. Isto pode acontecer, por exemplo, quando um cereal como o milho é cada vez mais utilizado na produção de bioetanol para o benefício de poucos, enquanto, ao mesmo tempo, outras pessoas enfrentam problemas de segurança alimentar em virtude do aumento do preço do milho. Os produtos que causam preocupação estão associados a pegadas hídricas grandes, que compõem a parte mais expressiva da pegada hídrica humana. A redução ou a contenção do aumento dessa porção significativa da pegada hídrica é importante para preservar volume suficiente de água para o meio ambiente e para as necessidades básicas do homem.

A sustentabilidade da pegada hídrica de um grupo de consumidores – por exemplo, os consumidores de um país – depende da sustentabilidade das pegadas hídricas dos consumidores individuais. Assim, pode-se avaliar se a pegada hídrica de cada consumidor é maior ou menor do que a sua cota justa e também se o consumo nacional de água doce, como um todo, compromete os limitados recursos hídricos globais que podem permanecer abaixo ou ultrapassar a cota equitativa do país.

Capítulo 5

Opções de medidas para a redução da pegada hídrica

5.1 Responsabilidade compartilhada

Pode-se dizer que os consumidores são responsáveis por aquilo que consomem. Portanto, eles também são responsáveis pelo uso indireto dos recursos relacionado ao seu padrão de consumo. Neste sentido, eles são responsáveis pela sua pegada hídrica e deveriam tomar medidas para assegurar que ela seja sustentável. Se os consumidores assim o fizerem, os produtores serão forçados a fabricar produtos sustentáveis. Pode-se inverter o argumento e dizer que os produtores são responsáveis pela fabricação de produtos sustentáveis. Isso implica que os produtores deveriam tomar medidas para tornar sustentáveis as pegadas hídricas de seus produtos. E os investidores deveriam, obviamente, considerar o uso sustentável de água ao tomarem suas decisões sobre investimentos. Como a água é um bem público, o governo não pode omitir de suas responsabilidades a necessidade de estabelecer regulamentos e incentivos adequados para garantir a sustentabilidade da produção e do consumo. Fica estabelecido aqui que todos - consumidores, produtores, investidores e governo - devem compartilhar a responsabilidade. Este capítulo irá analisar as opções disponíveis para que os consumidores, produtores, investidores e o governo possam reduzir suas pegadas hídricas e, também, mitigar os impactos.

A intenção aqui não é estabelecer prescrições. O manual não diz o que fazer, limita-se apenas a apresentar uma lista de opções. Como esta é a primeira versão deste inventário de opções não se pretende que ele seja completo. Contudo, este pode ser um guia útil para ajudar na formulação de ações (medidas) estratégicas alternativas. Uma ação estratégica pode ser uma combinação de uma ou mais opções identificadas aqui.

5.2 Redução da pegada hídrica da humanidade: O que é possível?

Tecnicamente, ambas as pegadas hídricas azul e cinza em indústrias e residências podem ser reduzidas a zero, através da reciclagem total da água. Em um ciclo fechado, não haverá perda por evaporação nem poluição por efluentes. Nas fábricas ou nos sistemas de refrigeração a água evaporada pode ser capturada e reutilizada ou devolvida ao corpo d'água de onde foi extraída. Há algumas exceções onde a pegada hídrica azul de um processo não pode ser completamente reduzida a zero, principalmente, quando a água

é incorporada ao produto. Essa parte da pegada hídrica azul não pode ser evitada, mas representa frações mínimas da pegada hídrica azul da humanidade. Outra exceção é quando a água é aplicada a céu aberto por necessidade e, assim, parte da evaporação não pode ser evitada. O único tipo de pegada hídrica cinza que nunca pode ser totalmente reduzida a zero é aquela relativa à poluição térmica; mas, mesmo neste caso, o calor pode ser parcialmente recapturado dos efluentes aquecidos dos sistemas de refrigeração e utilizado para outros fins antes que o efluente seja descartado no meio ambiente.

Na agricultura, a pegada hídrica cinza pode ser reduzida a zero evitando-se a aplicação de substâncias químicas no campo. Ela pode ser reduzida substancialmente através da aplicação de uma quantidade menor de substâncias químicas e do uso de técnicas e calendários de aplicação mais eficazes (para que menos substâncias químicas atinjam os corpos d'água através do escoamento ou da lixiviação). Geralmente, as pegadas hídricas azuis e verdes (m^3/ton) na agricultura podem ser reduzidas substancialmente através do aumento da produtividade das águas azul e verde (ton/m^3). Normalmente, um dos objetivos da agricultura é maximizar a produtividade da terra (ton/ha), o que faz sentido quando a terra é escassa e a água doce é abundante. Mas quando a escassez de água é maior do que a escassez de terra, maximizar a produtividade da água é mais importante. No caso da água azul, isso implica no uso de menos água de irrigação visando uma produtividade maior por metro cúbico de água evaporada.

A Tabela 5.1 resume as possíveis metas de redução da pegada hídrica por componente e por setor. As pegadas hídricas operacionais azul e cinza no setor industrial podem ser mais ou menos anuladas. No setor agrícola é necessário aprofundar as pesquisas para a formulação de metas razoáveis de redução quantitativa da pegada hídrica. Na teoria, a pegada hídrica cinza da agricultura pode ser zerada através da produção orgânica. Na prática, este é um grande desafio e vai demandar muito tempo até que toda a agricultura convencional seja substituída pela agricultura orgânica. Além disso, estima-se que dentro de algumas décadas a pegada hídrica azul total do mundo poderá ser reduzida à metade, devido, em parte, ao aumento da produtividade da água azul na agricultura irrigada (através da utilização de técnicas de irrigação que economizam água e da irrigação reduzida, onde déficits hídricos são aceitáveis em substituição à irrigação plena) e, em parte, devido ao aumento da proporção da produção baseada na água verde (sequeiro) ao invés da água azul (irrigação).

A 'redução' das pegadas hídricas pode ser alcançada de duas maneiras diferentes. Em uma determinada cadeia produtiva é possível substituir uma técnica por outra que resulte na redução ou eliminação da pegada hídrica ou, ainda, evitar o uso de um insumo específico ou do produto final por inteiro. Exemplos de tecnologias melhoradas de produção incluem: substituir a técnica de irrigação por aspersão pela irrigação por gotejamento; substituir a agricultura convencional pela orgânica; substituir os sistemas de refrigeração de água com circuito aberto pela refrigeração com circuito fechado. Alguns exemplos de atitudes para evitar as pegadas hídricas são: trocar as dietas com alto consumo de carne por dietas vegetarianas ou com menor quantidade de carne (optando por outras fontes de proteína que não utilizem tanta água em seu processo produtivo); evitar o uso de substâncias químicas tóxicas que acabam

atingindo as águas superficiais ou as águas subterrâneas através da rede de esgoto; ou ainda evitar o uso de biocombustíveis que fazem uso intensivo de água (optando, por exemplo, por fonte de energia solar ou eólica). Geralmente, 'reduzir evitando' é mais importante do que 'reduzir através de melhorias na produção', pois 'evitar' costuma exigir uma reconsideração a respeito dos padrões de produção e consumo em si, enquanto 'melhorar a produção' consiste em continuar fazendo o mesmo que era feito antes, porém, de uma forma mais ecologicamente eficiente. Na busca por opções para reduzir as pegadas hídricas é essencial explorar as duas maneiras.

Tabela 5.1 *Possíveis metas de redução da pegada hídrica por setor por componente da pegada hídrica*

	Agricultura	***Indústria***
Pegada hídrica verde	Diminuir a pegada hídrica verde (m^3/ton) através do aumento da produtividade da água verde (ton/m^3) tanto na agricultura de sequeiro, quanto na agricultura irrigada. Aumentar a produção total da agricultura de sequeiro.	Sem relevância.
Pegada hídrica azul	Diminuir a pegada hídrica azul (m^3/ton) através do aumento da produtividade da água azul (ton/m^3) na agricultura irrigada. Diminuir a relação entre as pegadas hídricas azul/verde. Diminuir a pegada hídrica azul global (por exemplo, em 50%)	Pegada hídrica azul nula: sem perdas de evaporação – reciclagem total – somente a pegada hídrica azul relativa à incorporação da água em um produto não pode ser evitada.
Pegada hídrica cinza	Reduzir o uso de fertilizantes e pesticidas artificiais; aplicação mais efetiva. A pegada hídrica cinza pode ser anulada com a implantação da agricultura orgânica.	Pegada hídrica cinza nula: sem poluição – reciclagem total, recaptura de calor de efluentes aquecidos e tratamento das vazões de retorno.

É normal pensar que a redução da pegada hídrica só é relevante em locais onde há problemas de escassez e poluição de água. A ideia é que é desnecessário reduzir a pegada hídrica azul em uma área onde a água azul é abundante e diminuir a pegada hídrica cinza quando há água suficiente para diluir os poluentes, de modo que as concentrações sejam mantidas abaixo do limite máximo tolerável. Do mesmo modo, é comum considerar desnecessário reduzir a pegada hídrica verde na agricultura porque haverá chuva de qualquer maneira e de outra forma a área seria improdutiva. A lógica por trás deste pensamento é a seguinte: quando a pegada hídrica em uma determinada bacia, em um determinado período não leva ao esgotamento significativo da água ou à sua poluição, a pegada hídrica deve ser sustentável. Este tipo de pensamento, entretanto, é baseado no conceito equivocado de que a sustentabilidade do uso da água depende apenas do contexto geográfico local. Conforme indicado na Seção 4.3, a pegada hídrica de um processo

específico é insustentável e, portanto, deve ser reduzida quando (i) a pegada hídrica do processo contribui para um ponto crítico, ou (ii) a pegada hídrica pode ser reduzida ou evitada, independente do contexto geográfico. O segundo critério implica que a pegada hídrica também deve ser reduzida, sempre que possível, nas áreas onde há abundância de água, não para resolver os problemas hídricos locais, mas para contribuir para um uso da água mais sustentável, justo e eficiente em nível global. A redução das pegadas hídricas (m^3/ton) em áreas onde há abundância de água através do aumento da produtividade da água (ton/m^3) é um elemento-chave para reduzir a pressão sobre os recursos hídricos das áreas onde há escassez hídrica, uma vez que um aumento da produção de mercadorias que fazem uso intensivo de água nas áreas onde há água suficientemente disponível é necessário quando os limites de produção já foram excedidos em áreas com escassez hídrica.

O problema é a pegada hídrica total da humanidade. O fato de essa pegada ser muito grande fica evidente nos pontos críticos, onde os problemas locais de depleção e poluição da água são observados durante certos períodos do ano. Reduzir a pegada hídrica nesses pontos críticos é uma necessidade óbvia. Mas essa é apenas uma parte da história. Surpreendentemente, a solução para os problemas das áreas de escassez de água está, em grande parte, nas áreas em que ela é abundante. Nestas últimas é possível encontrar baixa produtividade de água na agricultura de sequeiro (grandes pegadas hídricas verdes). Aumentar a produtividade de água (isto é, reduzir a pegada hídrica verde) na agricultura de sequeiro em áreas com abundância de água faz com que a produção global cresça, reduzindo a necessidade de produtos de uso intensivo da água nas áreas com escassez do recurso, aliviando, assim, a pressão sobre os recursos de água azul nessas áreas. Em uma perspectiva global, as pegadas hídricas por tonelada de produto devem ser reduzidas em todos os locais e, quando possível, também nas áreas com abundância de água.

De um ponto de vista global, a redução de 1 m^3 na pegada hídrica em uma bacia é equivalente a redução da mesma quantidade da pegada hídrica em outra bacia, mesmo quando esta apresentar maior escassez ou nível mais alto de poluição da água do que a outra. A razão para isso é que – considerando a disponibilidade limitada dos recursos hídricos no mundo – qualquer diminuição na pegada hídrica contribuirá para reduzir a demanda total em relação aos recursos hídricos. Quando se produz uma quantidade maior de produtos hidrointensivos com o mesmo volume de água em bacias com abundância deste recurso, é possível diminuir a produção nas áreas que sofrem com a escassez de água, ajudando a reduzir a pegada hídrica total nestas últimas. Essa é uma maneira indireta, porém importante, de resolver a questão da pressão sobre os recursos hídricos em áreas com escassez de água. Do ponto de vista local e imediato, é importante saber se a redução de 1m^3 da pegada hídrica ocorre em uma bacia com escassez ou em uma bacia com abundância de água. Reduzir a pegada hídrica em uma área com escassez de água contribui imediatamente para diminuir a pressão, desde que a redução da pegada hídrica por unidade de produção não esteja anulada, ao mesmo tempo, pelo aumento da produção. Embora todas as reduções de pegadas hídricas contribuam para resolver o problema mundial da disponibilidade limitada de recursos hídricos, a prioridade deveria ser a diminuição das pegadas hídricas localizadas nos pontos críticos já que isto teria uma lógica tanto global quanto local, enquanto a ação em pontos que não são críticos teria

apenas uma lógica global. A Tabela 5.2 resume, de modo esquematizado, como definir as prioridades na redução da pegada hídrica.

Tabela 5.2 *Prioridades na redução da pegada hídrica*

	Ponto não-crítico	***Ponto crítico****
Baixo potencial de redução	0	+
Alto potencial de redução**	+	++

* Um ponto crítico refere-se a um período especifico do ano (por exemplo, a época da seca), em uma determinada (sub)bacia em que a pegada hídrica é insustentável, por exemplo, porque compromete as demandas ambientais de água ou os padrões de qualidade da água ou porque a alocação e o uso da água na bacia são considerados injustos e/ou economicamente ineficientes.

** Há um grande potencial de redução quando a pegada hídrica for evitada como um todo ou substancialmente reduzida a um custo social razoável.

Na busca da redução da pegada hídrica até zero sugerimos adotar o termo 'água-neutro', em analogia ao termo 'carbono-neutro', que se refere às atividades com pegada de carbono igual a zero. O termo 'água-neutro' pode ser interpretado de diversas maneiras podendo gerar alguns problemas conceituais (Quadro 5.1). Torna-se mais claro quando o termo se refere simplesmente à 'pegada hídrica zero', o que é possível no caso das operações industriais onde a pegada hídrica nula é tecnicamente possível. O conceito de neutralidade da água torna-se menos claro quando inclui uma forma de 'compensação'. A ideia de 'compensação da pegada hídrica' é, obviamente, uma ideia desenvolvida em analogia ao conceito da 'compensação de carbono'. Uma vez que o termo 'compensação de carbono' já desperta dúvidas suficientes sobre seu significado, o conceito de 'compensação da pegada hídrica' é, provavelmente, mais controverso ainda (Quadro 5.2). Recomendamos priorizar a definição de metas quantitativas referentes à redução das pegadas hídricas e dos impactos associados ao invés da compensação.

Quadro 5.1 *Água Neutro*

O conceito 'água-neutro' é semelhante ao conceito do 'carbono-neutro'. Entretanto, assim como no caso do carbono-neutro, o termo água-neutro é questionável. Sua própria definição já é problemática. Quando utilizado pela primeira vez no Simpósio Mundial para o Desenvolvimento Sustentável, ocorrido em Johanesburgo, em 2002, a ideia era quantificar a água consumida durante a conferência pelas delegações e convertê-la em dinheiro. Membros das Delegações, corporações e sociedade civil foram encorajados a tornar a conferência 'neutra em água', através da compra de certificados de neutralidade em água para compensar seu consumo durante os dez dias de conferência, cujo investimento estava reservado para a instalação de bombas em comunidades carentes de água na África do Sul e para iniciativas de conservação de água (Water Neutral, 2002). Em 2007, a empresa Coca-Cola comprometeu-se a tornar suas operações 'água-neutras' da seguinte forma: (i) reduzindo o uso da água em suas operações, (ii) devolvendo a água utilizada em suas

operações ao meio ambiente de forma limpa, e (iii) compensando a água contida nas bebidas (seu produto final) através de programas de conservação e reciclagem. Ainda em 2007, o Ministério da Habitação do Reino Unido apresentou detalhes oficiais do projeto habitacional 'Thames Gateway', que seria água-neutro, ou seja, que o projeto não iria demandar o uso adicional de água apesar da construção de um grande número de novas casas e da quantidade de pessoas que se mudariam para lá. Isso poderia ser feito pela compensação das demandas adicionais de água nas novas residências através da redução do uso da água nas residências já existentes (Agência Ambiental, 2007). Nos três casos citados, o uso da água é medido em termos de captação (e não de consumo) e todos incluem alguma forma de 'compensação'. Além disso, os três casos consideram apenas o uso direto da água e não as formas indiretas de utilização do recurso. Entretanto, as três aplicações do conceito de água neutro têm pesos diferentes na 'redução do uso de água' versus sua compensação. Os casos de Johanesburgo e do Thames Gateway envolvem essencialmente a compensação, enquanto o caso da Coca-Cola faz a 'compensação' apenas quando o consumo de água não pode ser realmente reduzido (a água utilizada nas bebidas). Os casos de Johanesburgo e do Thames Gateway diferem entre si porque o último procura fazer a compensação dentro de uma área claramente definida, enquanto o primeiro não é muito preciso nesse sentido. Hoekstra (2008a) propôs relacionar o conceito de água-neutro com o conceito de pegada hídrica e defini-lo da seguinte forma: reduzir a pegada hídrica de uma atividade ou produto tanto quanto for razoavelmente possível e compensar a externalidade negativa da pegada hídrica remanescente. Ao relacionar o conceito da neutralidade em água com o conceito da pegada hídrica, o uso indireto da água também é contemplado. Em alguns casos específicos, quando a interferência no ciclo hidrológico pode ser completamente evitada – por exemplo, através da reciclagem completa e da poluição zero – a 'neutralidade em água', de acordo com essa definição, significa que a pegada hídrica é anulada; em muitos outros casos, como no crescimento de uma cultura, o consumo da água não pode ser anulado. Portanto, o termo 'água neutro' não significa sempre que o consumo de água chega a zero, mas que a pegada hídrica é reduzida tanto quanto possível e que os possíveis impactos das pegadas remanescentes são completamente compensados. A compensação pode ser feita através da contribuição (investimento) para um uso de água mais sustentável e equitativo nas unidades hidrológicas onde os impactos das pegadas hídricas remanescentes estão localizados. Na última definição do conceito de água neutro várias questões importantes permanecem sem respostas, como, por exemplo: quanta redução de uma pegada hídrica pode ser esperada? Qual é o custo apropriado da compensação? Que tipos de esforços contribuem para uma compensação? Enquanto questões desse tipo não forem respondidas, a interpretação do conceito irá depender do usuário. Assim, alguns podem utilizar o termo para se referir a medidas verdadeiramente efetivas, adotadas tanto nas operações quanto na cadeia produtiva, enquanto outros podem utilizá-lo apenas como marketing. Outro risco envolvendo o conceito da neutralidade em água é que o foco deixará de ser a redução da pegada hídrica e passará a ser sua compensação. A pegada hídrica pode ser estimada empiricamente, assim como sua redução. Definir medidas de compensação e analisar sua eficácia é muito mais difícil, aumentando o risco do mau uso do conceito. Além disso, as medidas de compensação devem ser consideradas como último recurso, a ser adotado somente após a redução da pegada hídrica.

Quadro 5.2 *Compensação da pegada hídrica*

O conceito da compensação da pegada hídrica ainda está mal definido. Em termos gerais, a compensação significa definir medidas para compensar os impactos negativos da pegada hídrica que permanecem após a implantação das medidas de redução. Mas os dois pontos fracos da definição deste conceito são: (i) não especificar que tipo de medidas de compensação e que nível de compensação são adequados para compensar um determinado impacto da pegada hídrica, e (ii) não especificar, de forma precisa, quais impactos devem ser compensados e como medir esses impactos. No capítulo 4, vimos que o termo 'impacto' pode ter várias interpretações. O fato do conceito da compensação estar mal definido significa que ele pode ser facilmente utilizado de forma inadequada. Sem uma definição clara, as medidas tomadas sob a bandeira da 'compensação' podem ser mais uma forma de 'lavagem verde' do que um esforço real destinado à compensação total. Por essa razão, recomendamos fortemente que as medidas adotadas tenham foco na redução das pegadas hídricas e que a compensação seja considerada somente como um último recurso. Outro motivo é que a pegada hídrica e seus impactos são sempre locais. Neste sentido, a pegada hídrica é muito diferente da pegada de carbono. A ideia de um mercado de compensação global, que foi desenvolvida ao longo dos últimos anos para compensar a pegada de carbono, não faz sentido no caso da água. A compensação de uma pegada hídrica sempre deve ocorrer na bacia onde a pegada hídrica está localizada. Isso chama a atenção para a pegada hídrica da empresa e não permite raciocinar em esquemas de compensação geral onde alguém pode simplesmente 'comprar' uma compensação.

5.3 Consumidores

A pegada hídrica de um consumidor é sustentável quando (i) seu total permanece abaixo da cota justa dos consumidores de todo o mundo; (ii) nenhum componente da pegada hídrica total está localizado em um ponto crítico; e (iii) nenhum componente da pegada hídrica total pode ser reduzido ou evitado totalmente a um custo social razoável.

Os consumidores podem reduzir as suas pegadas hídricas diretas (uso doméstico da água) adotando medidas, tais como válvulas de descarga eficientes e chuveiros que economizam água, fechar a torneira enquanto escovam os dentes, utilizar menos água no jardim e não descartar medicamentos, tintas ou outros poluentes na pia ou no tanque.

Geralmente, a pegada hídrica indireta de um consumidor é muito maior do que a sua pegada hídrica direta. Um consumidor tem, basicamente, duas opções para reduzir a sua pegada hídrica indireta. Uma opção é mudar o seu padrão de consumo, substituindo um produto que tenha pegada hídrica grande por outro que tenha uma pegada hídrica menor. Alguns exemplos incluem comer menos carne ou se tornar vegetariano, beber água ao invés de café, optar por roupas feitas com tecidos à base de fibras sintéticas artificiais ao invés de algodão. Mas essas medidas têm limitações, pois muitas pessoas não se tornam vegetarianas com facilidade e muitos não abrem mão do café e das roupas feitas de algodão. Uma segunda opção é optar pelo uso de algodão, carne ou café que tenham pegadas hídricas relativamente baixas ou cujas pegadas hídricas não estejam localizadas em áreas que sofram

grande escassez de água. Isso exige, no entanto, que os consumidores tenham acesso às informações necessárias para que possam fazer as suas escolhas. Como geralmente essas informações não estão disponíveis uma coisa importante que os consumidores podem fazer é exigir transparência sobre os produtos aos seus fabricantes, além de exigir que o governo defina regulamentações para isso. Quando há informações disponíveis sobre os impactos de um determinado produto sobre o sistema hídrico os consumidores podem fazer escolhas conscientes na hora de comprá-lo.

5.4 Empresas

Uma estratégia corporativa de pegada hídrica pode incluir uma variedade de metas e atividades (Tabela 5.3). As empresas podem reduzir sua pegada hídrica operacional ao diminuir o consumo de água em suas próprias operações e reduzir a poluição hídrica a zero. As palavras-chave são: evitar, reduzir, reciclar e tratar antes de descartar. Ao se evitar a evaporação, a pegada hídrica azul pode ser reduzida a zero. Ao reduzir a produção de água residual ao máximo possível e se tratando a água residual que ainda é produzida, a pegada hídrica cinza também pode ser reduzida a zero. O tratamento pode ser realizado dentro das próprias instalações da empresa ou em uma estação pública de tratamento de esgotos; é a qualidade da água finalmente lançada no sistema hídrico receptor que determina a pegada hídrica cinza.

Para muitas empresas a pegada hídrica da cadeia produtiva é muito maior do que a pegada hídrica operacional. Portanto, é fundamental que as empresas também observem isso. Implantar melhorias na cadeia produtiva pode ser mais complicado – pois ela não é controlada diretamente – mas elas podem ser mais efetivas. As empresas podem reduzir a pegada hídrica de sua cadeia produtiva, estabelecendo acordos com os seus fornecedores para que incluam certos padrões ou, simplesmente, trocando de fornecedor. Em muitos casos este pode ser um processo bastante trabalhoso, pois talvez todo o modelo de negócios pode precisar ser transformado para incorporar ou controlar melhor as cadeias produtivas e torná-las completamente transparentes para os consumidores.

Uma empresa também pode desejar reduzir a pegada hídrica do consumidor que é inerente ao uso do seu produto. Quando os consumidores utilizam sabonete, xampu, produtos de limpeza ou tintas é provável que esses produtos sejam descartados pelo ralo. Quando a água não é tratada ou quando a quantidade de substâncias químicas é tal que não seja total ou parcialmente removida, é gerada uma pegada hídrica cinza que poderia ter sido evitada se a empresa tivesse utilizado substâncias menos tóxicas, menos prejudiciais e mais facilmente degradáveis.

Tabela 5.3 *Opções de redução da pegada hídrica corporativa*

Metas de redução da pegada hídrica – operações
- Benchmarking de produtos ou locais. Definir as melhores práticas e estabelecer metas para serem implementadas em toda a empresa. Isto pode ser feito na própria empresa ou no setor como um todo.
- Redução da pegada hídrica azul em geral. Redução do uso consuntivo da água nas operações através da reciclagem, adoção de acessórios e equipamentos que economizam água, substituição dos processos de uso intensivo de água por processos de uso extensivo de água.
- Redução da pegada hídrica azul em pontos críticos. Priorizar as medidas acima nas áreas que sofrem com a escassez de água ou onde as demandas de vazão ambiental de um rio são violadas, ou ainda nos casos em que os níveis de água subterrânea ou de lagos estão diminuindo.
- Redução da pegada hídrica cinza em geral. Reduzir o volume de água residual; reciclar as substâncias químicas. Tratar a água residual antes de descartá-la. Recapturar o calor dos efluentes.
- Redução da pegada hídrica cinza em pontos críticos. Priorizar as medidas nas áreas onde os padrões de qualidade da água em seu estado natural são violados.

Metas de redução da pegada hídrica – cadeia produtiva
- Acordar metas de redução com os fornecedores.
- Trocar de fornecedores.
- Ter maior ou total controle sobre a cadeia produtiva. Alterar o modelo de negócio para incorporar ou ter maior controle da cadeia produtiva.

Metas de redução da pegada hídrica – uso final
- Reduzir as necessidades de água inerentes à fase de utilização do produto. Reduzir o uso de água quando o produto é utilizado (por exemplo, descargas com dois níveis, sanitário seco, chuveiros e máquinas de lavar roupa que economizam água, equipamentos de irrigação que economizam água).
- Reduzir o risco de poluição na fase de utilização do produto. Evitar ou minimizar o uso de substâncias nos produtos que podem ser prejudiciais quando atingem os recursos hídricos (por exemplo, substâncias usadas em sabonetes e xampus).

Medidas de compensação da pegada hídrica
- Compensação ambiental. Investimento no aperfeiçoamento da gestão e no uso sustentável da água na bacia onde a pegada hídrica (residual) da empresa estiver localizada.
- Compensação social. Investir no uso equitativo da água onde a pegada hídrica (residual) da empresa estiver localizada, por exemplo, diminuindo a pobreza e melhorando o acesso à água limpa e ao saneamento.
- Compensação econômica. Compensar os usuários a jusante, afetados pelo uso intensivo de água a montante na bacia, onde a pegada hídrica (residual) da empresa estiver localizada.

Transparência nos negócios e nos produtos
- Conformidade com as definições e métodos compartilhados. Promover e adotar o padrão global para o cálculo e a avaliação da pegada hídrica, conforme indicado neste manual.
- Promover a contabilidade hídrica ao longo de toda a cadeia produtiva. Cooperar com todos os agentes ao longo da cadeia produtiva para viabilizar a contabilização total dos produtos finais.
- Relatórios da pegada hídrica corporativa. Relatar os esforços, as metas e os progressos referentes à questão da água no relatório anual de sustentabilidade, incluindo a cadeia produtiva.
- Divulgação da pegada hídrica do produto. Divulgação de dados relevantes através de relatórios ou pela internet.
- Elaborar rótulos sobre o uso da água no produto. Assim como no item anterior, mas agora incluindo a informação em um rótulo separado ou em um único rótulo maior.
- Certificação de água da empresa. Promover e ajudar a elaborar um esquema de certificação hídrica e manter a conformidade com ele.

Engajamento
- Comunicação com o consumidor; engajamento com organizações da sociedade civil.
- Trabalho proativo com o governo para desenvolver leis e regulamentações relevantes.

Algumas das diversas alternativas ou ferramentas complementares que podem ajudar a melhorar a transparência são: estar em conformidade com as definições e métodos compartilhados (conforme apresentado neste manual), relatar a pegada hídrica e divulgar dados relevantes. A clareza sobre as atividades adotadas para reduzir a pegada hídrica corporativa pode ser reforçada com a definição de metas quantitativas de redução da pegada hídrica ao longo do tempo. Uma ferramenta importante para as grandes empresas ou para setores específicos é o *benchmarking*: o resultado que pode ser alcançado na (cadeia produtiva de uma) fábrica também pode ser obtido em (uma cadeia produtiva de) outra fábrica.

5.5 Agricultores

A agricultura é um tipo de negócio em que se aplica a mesma abordagem que foi discutida na seção anterior. Para os pecuaristas a principal preocupação deve girar em torno da pegada hídrica da ração que eles compram ou produzem. Para os agricultores há várias opções disponíveis na Tabela 5.4 para reduzir as pegadas hídricas. A vantagem de reduzir as pegadas hídricas verdes por unidade de cultura na agricultura de sequeiro é que a produção total das áreas de sequeiro aumenta. Em decorrência do aumento da produção de sequeiro a necessidade da produção em outros lugares é menor, diminuindo as demandas por terra e por recursos hídricos (verdes ou azuis) em outros lugares. Reduzir a pegada hídrica verde por tonelada de cultura em um lugar pode resultar na redução da pegada hídrica azul na produção agrícola como um todo. No caso da agricultura irrigada, modificar a técnica de irrigação e a filosofia de aplicação pode reduzir muito a pegada hídrica azul. A opção pela irrigação por gotejamento ao invés da irrigação por aspersão ou por sulcos pode reduzir substancialmente a evaporação. Além disso, a estratégia de otimizar a produção (ton/ha) por um agricultor típico leva, muitas vezes, ao uso desnecessário da água de irrigação. Ao invés de aplicar a irrigação completa, pode ser mais sensato optar pela chamada 'irrigação deficitária', que visa a obter a produtividade máxima da água na cultura (ton/m^3), ao invés de obter o máximo de produtividade (ton/ha). Na irrigação deficitária a água é aplicada durante os estágios do crescimento da cultura que são sensíveis à seca; fora desses períodos a irrigação é limitada ou até mesmo desnecessária se a chuva fornecer um suprimento mínimo de água. Outra alternativa é a chamada 'irrigação suplementar', que economiza ainda mais água. Nessa estratégia, pequenas quantidades de água são adicionadas às culturas que são essencialmente de sequeiro, nos períodos em que a chuva não fornece umidade suficiente para o crescimento normal da plantação, para melhorar e estabilizar a produtividade. A pegada hídrica cinza das operações agrícolas pode ser bastante reduzida através da adoção da agricultura orgânica que exclui ou limita estritamente o uso de fertilizantes, pesticidas e outras substâncias químicas.

Tabela 5.4 *Opções de redução da pegada hídrica para agricultores*

Reduzir a pegada hídrica verde da cultura
• Aumentar a produtividade da terra (produção, ton/ha) na agricultura de sequeiro através do aperfeiçoamento das práticas agrícolas; como a chuva na terra permanece a mesma, a produtividade da água (ton/m³) vai aumentar e a pegada hídrica verde (m³/ton) vai diminuir.
• Uso de cobertura morta do solo (*mulching*), diminuindo, assim, a evaporação da superfície do solo.
Reduzir a pegada hídrica azul da cultura
• Optar por uma técnica de irrigação que proporcione menor perda por evaporação.
• Escolher outra cultura ou variedade que melhor se adapte ao clima da região, diminuindo a demanda de água para irrigação.
• Aumentar a produtividade da água azul (ton/m³) ao invés de maximizar a produtividade da terra (produção, ton/ha)
• Melhorar o cronograma de irrigação, otimizando a frequência e a lâmina das aplicações
• Diminuir a irrigação (irrigação deficitária ou irrigação suplementar) ou deixar de irrigar.
• Reduzir as perdas por evaporação da água armazenada em reservatórios e do sistema de distribuição de água.
Reduzir a pegada hídrica cinza da culturas
• Diminuir ou eliminar a aplicação de produtos químicos (fertilizantes e pesticidas artificiais) optando, por exemplo, pela agricultura orgânica.
• Aplicar o fertilizante ou composto de modo que facilite a absorção pelas plantas, reduzindo o risco de lixiviação e de escoamento.
• Otimizar a forma e cronograma de aplicação de produtos químicos reduzindo seu volume, sua lixiviação ou escoamento.

5.6 Investidores

Quando uma empresa não cuida explicitamente da sua pegada hídrica, nem investe na formulação de medidas adequadas de resposta (veja a seção anterior), podem surgir vários tipos de riscos corporativos (Levinson et al, 2008; Pegram et al, 2009; Morrison et al, 2009, 2010; Barton, 2010). Primeiro, existe o risco físico da escassez de água que pode afetar a cadeia produtiva ou as próprias operações da empresa. Segundo, a imagem corporativa da empresa pode ser prejudicada, caso a população e a mídia questionem se a empresa adota ou não enfoques relativos ao uso equitativo e sustentável de água. Os problemas de depleção ou poluição de água na cadeia produtiva ou nas operações de uma empresa, bem como a falta de estratégias de mitigação, constituem um risco para a reputação da empresa. Terceiro, motivado pela necessidade de obter um uso mais equitativo e sustentável dos escassos recursos de água doce, os governos irão, indubitavelmente, aumentar suas interferências e regulamentações com relação ao uso da água. As incertezas com relação aos futuros controles de regulamentação constituem um risco para as empresas contra o qual elas devem se antecipar, ao invés de ignorar. Cada um dos três riscos mencionados acima pode se tornar um risco financeiro em termos de aumento de custos e/ou redução de receitas. Por este motivo, os investidores estão cada vez mais interessados na divulgação das informações sobre os riscos relacionados à água nas empresas em que eles investem.

Na verdade, os riscos podem se transformar em oportunidades para aquelas empresas que reagem proativamente frente ao desafio da escassez global de água doce. Os pioneiros que dão transparência do produto antes dos outros, que formulam metas específicas e mensuráveis relacionadas à redução da pegada hídrica – com destaque especial às áreas onde os problemas de escassez e poluição da água são mais críticos – e que podem apresentar melhorias reais, podem transformar os riscos em uma vantagem competitiva.

Por fim, além da necessidade de considerar riscos e da oportunidade de lucrar com estratégias proativas, a incorporação da preocupação com questões de escassez e de poluição da água deve fazer parte da responsabilidade social corporativa. Atualmente, as preocupações das empresas em termos ambientais estão mais relacionadas às questões energéticas. Estender essa preocupação para a problemática da água é uma questão de lógica em um mundo onde a escassez de água doce é vista como o grande desafio ambiental, ao lado do aquecimento global.

5.7 Governo

Desenvolver e implementar boas políticas de água é apenas uma parte da boa governança da água. Isto também requer que o governo traduza o objetivo do uso sustentável dos recursos hídricos para o que ele significa para outras políticas de gestão. A intenção do governo de promover o uso dos recursos de água doce de modo ambientalmente sustentável, socialmente equitativo e economicamente eficiente, precisa ser refletida não só na política hídrica do governo, mas também nas políticas ambientais, agrícolas, industriais, energéticas, comerciais e de relações internacionais. A coerência entre as políticas dos diferentes setores é fundamental, porque uma boa "política hídrica", em seu sentido mais estrito e convencional, não tem impacto se for descompensada, por exemplo, por uma política agrícola que leva ao agravamento da demanda de água em uma área com a escassez hídrica. Além disso, é necessário que haja coerência nos diferentes níveis de governo, do local ao nacional, sendo a cooperação internacional também crucial. Uma política nacional que visa implantar estruturas adequadas de cobrança pelo uso da água na agricultura, por exemplo, ficaria vulnerável a falhas se – em um contexto internacional – não foi acordado que outros países irão desenvolver políticas semelhantes devido ao risco de competição desleal. Como outro exemplo, para se alcançar transparência do produto a cooperação internacional também é necessária, pois muitas cadeias produtivas de itens que fazem uso intensivo de água são, de fato, internacionais.

Tradicionalmente, os países formulam planos nacionais de recursos hídricos com o objetivo de satisfazer os usuários de água. Apesar dos países considerarem, atualmente, alternativas para reduzir a demanda de recursos hídricos, além de opções para aumentar o fornecimento de água, geralmente eles não incluem a dimensão global da gestão hídrica. Desta forma, eles não consideram, explicitamente, opções para a economia de água através da importação de produtos de uso intensivo de

água. Além disso, ao observar somente o uso da água em seus próprios países, muitos governos criam uma lacuna em relação à questão da sustentabilidade do consumo nacional. Na realidade, muitos países externalizaram suas pegadas hídricas de modo significativo sem verificar se os produtos importados contribuem para o esgotamento e a poluição da água nos países exportadores. Os governos podem e devem se unir aos consumidores e às empresas com o objetivo de buscar produtos sustentáveis. O cálculo da pegada hídrica nacional deve ser um componente-padrão das estatísticas nacionais de água e deve servir de base para formular um plano nacional de recursos hídricos e de bacias hidrográficas coerente com as políticas nacionais relativas ao meio ambiente e aos setores industrial, energético, comercial e de cooperação internacional.

Os cálculos da pegada hídrica e da comercialização da água virtual podem compor um banco de dados relevante para a formulação de vários tipos de políticas governamentais, tais como: política estadual ou nacional de água, políticas de bacias hidrográficas, política local de água, política ambiental, política agrícola, industrial/econômica, energética, de comércio internacional e política de cooperação de desenvolvimento (Tabela 5.5). Uma vez que a organização governamental pode ser considerada uma empresa, outro fator importante para o governo é refletir sobre a possibilidade de reduzir a sua própria pegada hídrica.

Os elementos-chave de uma estratégia governamental voltada à redução da pegada hídrica são: aumentar a conscientização sobre a questão da água entre os consumidores e produtores; promover o uso de tecnologias que visam à economia de água em todos os setores da economia; reestruturar os mecanismos de cobrança pelo uso da água de modo que o custo real da água se torne parte do custo dos produtos finais; promover a transparência do produto ao longo das cadeias de fornecimento e reestruturar as economias baseadas no suprimento insustentável de água. Estes são todos os desafios que demandam a cooperação intra-setorial e, em muitos casos, a cooperação internacional. Como as atribuições políticas estão fragmentadas em diferentes níveis e campos de planejamento e gestão, a questão chave é descobrir quais medidas mitigadoras são adequadas nos diferentes níveis e campos da governança para permitir acordos de ações necessários.

Tabela 5.5 *Opções de redução de pegadas hídricas e mitigação de seus impactos por parte de governos*

Políticas hídricas nos âmbitos nacional, local e em bacias hidrográficas

- Adotar o esquema de cálculo da pegada hídrica nacional, ampliando a base de conhecimento para a correta tomada de decisões. Usar as informações sobre as pegadas hídricas e a comercialização da água virtual para ajudar a formular tanto o plano nacional de recursos hídricos como os planos de bacias hidrográficas.
- Aumentar a eficiência do uso de água no âmbito do usuário, em todos os setores, através da promoção de técnicas que ampliem a produtividade da água e, consequentemente, reduzam as pegadas hídricas por unidade de produção.
- Aumentar a eficiência do uso de água em nível de bacia hidrográfica através da alocação de recursos hídricos para os propósitos que oferecem mais benefícios sociais.
- Promover a alocação dos recursos nacionais de água de modo que o país produza as mercadorias para as quais ele tenha vantagem comparativa em relação a outros países.
- Para a economia nacional de água: diminuir a exportação de água virtual, aumentar a importação de água virtual e reduzir a pegada hídrica dentro do país (Allan, 2003; Chapagain ET AL, 2006a).
- Para reduzir a dependência nacional de água: reduzir a pegada hídrica externa.

Política nacional ambiental

- Para a produção sustentável: formular metas de redução considerando a pegada hídrica dentro do país. Essas metas devem ser especificadas por bacia; priorizar pontos críticos onde os impactos são maiores. Traduzir as metas de bacias para planos operacionais, envolvendo os setores relevantes.
- Para o consumo sustentável: definir metas referentes à redução das pegadas hídricas interna e externa do consumo nacional; priorizar pontos críticos. Traduzir as metas para as categorias de produtos e os setores econômicos específicos.
- Transferir os objetivos referentes à proteção da natureza e à preservação da biodiversidade às demandas ambientais de água azul e verde; incluir as demandas ambientais de água no planejamento das bacias hidrográficas (Dyson et al, 2003; Acreman e Dunbar, 2004; Poff et al, 2010).
- Engajamento com os consumidores e com as organizações ambientais ou da sociedade civil para ampliar a 'conscientização sobre a questão da água' entre os consumidores, agricultores e líderes empresariais.
- Estabelecer metas referentes à redução do desperdício em toda a cadeia produtiva dos alimentos (desde o campo até a mesa) e formular medidas adequadas. Desperdiçar alimentos equivale a desperdiçar água.

Política nacional de agricultura

- Incluir a meta referente ao uso sustentável dos recursos hídricos nacionais na formulação da política de segurança alimentar do país.
- Não subsidiar a agricultura de uso intensivo da água em áreas com escassez desse recurso.
- Promover culturas adequadas e adaptadas ao clima do local para diminuir a demanda de irrigação.
- Apoiar investimentos em sistemas de irrigação e técnicas que conservem a água.
- Promover, junto aos agricultores, a redução ou a otimização da aplicação de fertilizantes, pesticidas e inseticidas, para que menos produtos químicos atinjam os sistemas hídricos.
- Promover a redução da pegada hídrica na agricultura – veja a Tabela 5.4. Isso pode ser feito de várias formas alternativas ou complementares: regulação ou legislação (por exemplo, com relação à frequência, às lâminas e técnicas de irrigação e à aplicação de produtos químicos), outorgas, cotas, cobrança integral pelo uso da água, comercialização de direitos de uso, subsídios para técnicas específicas de irrigação, medição compulsória do uso da água, promoção da conscientização.

Política nacional industrial / econômica
- Promover a transparência do produto com implementação através de acordos voluntários por setor ou através de legislação.
- Transferir as metas nacionais de redução da pegada hídrica para as metas específicas de redução para produtos, produtores e/ou setores. Implementar através da legislação e/ou de incentivos econômicos (imposto sobre a pegada hídrica, e/ou incentivos para medidas específicas de redução da pegada hídrica).

Política energética nacional
- Analisar as implicações dos cenários energéticos com relação à demanda de água, com atenção especial à pegada hídrica do setor de bioenergia.
- Promover a harmonia entre as políticas hídricas e de energia para que as últimas não aumentem a pegada hídrica do setor e as políticas hídricas não gerem um aumento do uso de energia e da pegada de carbono no setor hídrico.

Política de comércio nacional
- Assegurar a coerência entre as políticas hídricas e de comércio. Reduzir a exportação de produtos de baixo valor que fazem uso intensivo da água nas áreas com escassez (e aumentar a importação). Usar a abundância local da água como um fator para promover a produção de mercadorias que fazem uso intensivo de água com o objetivo de exportá-las.
- Reduzir a dependência da importação de água virtual (em outras palavras, reduzir a pegada hídrica externa) se for necessário, visando a segurança nacional.
- Promover a transparência dos produtos comercializados para que a sua pegada hídrica possa ser rastreada.

Política de relações e cooperações internacionais
- Promover um acordo internacional referente à redução da pegada hídrica mundial como, por exemplo, um 'protocolo de licença de pegada hídrica' internacional, que estabeleça as pegadas hídricas máximas para cada país (Hoekstra, 2006, 2010a; Hoekstra e Chapagain, 2008; Verkerk ET AL, 2008).
- Promover um acordo internacional sobre a transparência dos produtos (Hoekstra, 2010a, 2010b).
- Promover um protocolo internacional de cobrança pelo uso da água (Hoekstra, 2006, 2010a; Hoekstra e Chapagain 2008; Verkerk et al, 2008).
- Cooperar com os governos e outros agentes nos países em desenvolvimento para a redução das pegadas hídricas; focar em pontos críticos no mundo onde os problemas de escassez e poluição de água são mais severos e onde a nação contribui através de sua própria pegada hídrica externa.

Reduzir a pegada hídrica dos próprios serviços e organizações governamentais.
- Veja as opções existentes para as empresas na Tabela 5.3
- Incluir a pegada hídrica dos produtos como um critério da política de sustentabilidade das licitações do governo.

Capítulo 6

Limitações

O conceito da pegada hídrica é relativamente novo e a avaliação da pegada hídrica é uma ferramenta igualmente nova. Como acontece frequentemente com novos conceitos e ferramentas promissoras que mexem com a imaginação das pessoas, as expectativas nem sempre são atingidas. Considerando que os recursos de água doce do mundo são limitados, a pegada hídrica é um indicador muito útil, uma vez que ela mostra quando, onde e como os consumidores, produtores, processos e produtos individuais demandam este recurso limitado. A avaliação da pegada hídrica é uma ferramenta útil para quantificar e localizar as pegadas hídricas, para avaliar se elas são sustentáveis e para identificar opções para reduzi-las onde for necessário. Dito isso, fica claro que a pegada hídrica é apenas um indicador relevante dentro da abrangente temática que envolve a alocação e o uso sustentável, justo e eficiente dos recursos naturais. Obviamente, ela precisa ser complementada com vários outros indicadores relevantes para que ocorra um entendimento mais integrado. De modo semelhante, a avaliação da pegada hídrica não é nada mais do que uma ferramenta que facilita o entendimento das complexas relações entre as sociedades e os ambientes onde vivem. Ela focaliza o uso dos recursos de água doce considerando sua natureza limitada. A avaliação não aborda questões que não estejam relacionadas à escassez da água, tais como inundações ou falta de infraestrutura para o fornecimento apropriado de água para comunidades carentes. Ela também não aborda outras questões ambientais que não se refiram à escassez de água doce.

Portanto, a avaliação da pegada hídrica é uma ferramenta parcial que deve ser adotada em conjunto com outros tipos de análises para permitir o entendimento de todas as questões relevantes durante a tomada de decisões. A rápida adoção da pegada hídrica como um indicador abrangente da apropriação da água doce pelo homem é útil no processo de priorização da escassez de água doce na agenda dos governos e das empresas, mas sempre existe o risco do excesso de simplificação. Há uma tendência, entre governos e empresas de reduzir a realidade, que é complexa, a um número muito limitado de indicadores. Nos governos, boa parte do foco está voltada para o indicador de "produto interno bruto" e nas empresas para o indicador de "lucro". De modo mais geral, os governos frequentemente focam em um número limitado de indicadores sociais, ambientais e econômicos, sendo o PIB um dos indicadores econômicos. As empresas geralmente usam um número limitado de "indicadores de desempenho", muitas vezes categorizados sob o termo "pessoas, planeta e lucro" (a tríade proposta por Elkington, 1997). A pegada hídrica pode ser vista como um indicador adicional. Acrescentar este indicador à agenda dos políticos, gestores

e tomadores de decisão pode ser útil, mas o problema é o mesmo que ocorre com todos os outros indicadores ambientais, econômicos e sociais, amplamente utilizados: eles não contam toda a história, apenas a reduzem a uma medida simplificada. Os indicadores só são úteis quando são utilizados de maneira sensata.

As informações obtidas de uma análise da pegada hídrica devem ser sempre combinadas com outras questões ambientais, sociais, institucionais, culturais, políticas e econômicas, relevantes, antes que decisões bem embasadas e equilibradas sejam tomadas. Reduzir e redistribuir a pegada hídrica da humanidade é essencial para promover o desenvolvimento sustentável, mas há outros fatores igualmente importantes. Considerar todos os outros fatores-chave é fundamental na formulação de estratégias de como utilizar os diferentes meios técnicos, institucionais, políticos, de comunicação, econômicos e legais para a redução das pegadas hídricas.

Para entender melhor no que consiste a avaliação da pegada hídrica, observe a lista (não-exaustiva) de limitações abaixo:

- A avaliação da pegada hídrica foca na análise do uso da água doce em função de sua natureza limitada; ela não aborda outros temas ambientais, tais como as mudanças climáticas, a depleção dos recursos minerais, a fragmentação de habitats, a disponibilidade limitada de terra ou a degradação do solo, nem abrange temas sociais ou econômicos, tais como pobreza, emprego ou bem-estar. A avaliação da pegada hídrica envolve as questões ambientais, sociais e econômicas apenas enquanto o uso dos recursos hídricos afeta a biodiversidade, a saúde, o bem-estar ou a equidade. Obviamente, quando há interesse em questões ambientais, sociais e econômicas mais amplas, muitos outros fatores entram em cena além da água. É importante reconhecer que reduzir a pegada hídrica da humanidade onde for necessário é apenas um desafio que deve ser visto no contexto muito mais amplo de outros desafios.
- A avaliação da pegada hídrica aborda as questões da escassez e da poluição da água. Não envolve a questão das inundações. Também não envolve a questão do acesso inadequado à água limpa pelas comunidades, visto que esta não é uma questão ligada à escassez de água, mas sim à pobreza. Além disso, a pegada hídrica refere-se à água doce e não ao uso e à poluição da água salgada. A avaliação da pegada hídrica limita-se a considerar as atividades humanas que afetam a quantidade ou a qualidade da água doce de uma bacia hidrográfica.
- A pegada hídrica é um indicador do uso de água doce que considera o uso consuntivo e a poluição da água. Isso é interessante da perspectiva da bacia hidrográfica já que a disponibilidade de água doce em uma bacia é limitada. As pegadas hídricas verde, azul e cinza mostram como as atividades humanas e os produtos demandam esses recursos limitados de água doce. Outro indicador útil do uso da água é o clássico indicador da "retirada de água azul" (captação de água). Conhecer a captação de água azul é igualmente interessante, não tanto do ponto de vista da bacia, mas do ponto de vista do usuário de água, pois é importante conhecer todos os componentes do balanço hídrico.

- As empresas vêm demonstrando cada vez mais interesse pelos possíveis "riscos relacionados à água" (Levinson et al, 2008; Pegram et al, 2009; Morrison et al, 2009, 2010; Barton, 2010). Avaliar a pegada hídrica de uma empresa ajuda a compreender parte deste risco, já que ela mostra quais são os componentes insustentáveis da pegada hídrica da empresa; entretanto, a avaliação da pegada hídrica não é o mesmo que uma avaliação de risco total. Os componentes insustentáveis da pegada hídrica de uma empresa implicam em riscos físicos, de imagem e regulatórios, podendo afetar sua licença de operação; mas se o foco de interesse for o risco relativo à água, a avaliação da pegada hídrica não é suficiente.
- Os governos têm grande responsabilidade sobre a governança dos recursos públicos. Durante as últimas décadas, ficou claro que as abordagens integradas são importantes, onde a consistência e a coerência entre as diferentes políticas públicas são consideradas essenciais. No campo do gerenciamento de recursos hídricos, a abordagem integrada é geralmente conhecida como "gestão integrada dos recursos hídricos" (GIRH) e, alternativamente, quando o foco está em uma bacia hidrográfica especifica, é conhecida como "gestão integrada da bacia hidrográfica" (GIBH) (GWP, 2000; GWP e INBO, 2009; UNESCO, 2009). A GIRH e a GIBH são conceitos muito amplos direcionados tanto para questões relevantes, tais como "o que é um bom plano integrado?", como para questões organizacionais do tipo "como desenvolvemos e implementamos este plano?", além de questões institucionais, por exemplo, "como criar as condições propícias à ação?". Obviamente, a ferramenta da "avaliação da pegada hídrica" não substitui a GIRH e a GIBH, mas deve ser considerada como uma ferramenta analítica que pode ajudar a expandir a base do conhecimento para ambas. A avaliação da pegada hídrica amplia o escopo tradicional da análise da escassez da água ao introduzir a cadeia produtiva e incluir as dimensões de escassez e de poluição da água no comércio internacional. Desta forma, ela pode contribuir para a tomada de decisões mais assertivas no contexto do gerenciamento de recursos hídricos.

Por fim, vale mencionar que o conceito da pegada hídrica, que existe no ambiente acadêmico desde 2002, não tinha entrado para o mundo dos negócios, dos governos e da sociedade civil até o segundo semestre de 2007. Isto significa que a experiência desse conceito ainda é limitada na prática. Consequentemente, é difícil encontrar muitos exemplos práticos de avaliações da pegada hídrica total. A maior parte dos estudos sobre as pegadas hídricas dão ênfase à fase do cálculo. Além de estudos sobre a pegada hídrica global (Hoekstra e Chapagain, 2007a, 2008), foi realizada uma grande quantidade de estudos sobre a pegada hídrica em diversas localidades geográficas (ver resumo sobre o assunto em Kuiper et al, 2010). O governo espanhol foi o primeiro a adotar formalmente o conceito da pegada hídrica ao solicitar análises da pegada hídrica no nível de bacias hidrográficas na elaboração dos planos de bacias (Official State Gazette, 2008; Garrido et al, 2010). Muitas empresas já analisaram as pegadas hídricas de alguns de seus produtos, mas apenas algumas empresas atingiram um estágio em que podem divulgar os resultados obtidos (SABMiller e WPH-UK, 2009; SABMiller et

al, 2010; TCCC e TNC, 2010; IFC et al, 2010; Chapagain e Orr, 2010). Poucos estudos contêm uma avaliação total da pegada hídrica, conforme descrita neste manual. Espera-se que, quando houver mais aplicações práticas disponíveis sejam fornecidas contribuições valiosas para o refinamento dos procedimentos e métodos, como descritos aqui.

Capítulo 7

Desafios futuros

7.1 Metodologia e dados de avaliação da pegada hídrica

Há um grande número de questões práticas durante a avaliação de uma pegada hídrica. Este manual pode conter orientações suficientes para alguns casos, mas para outros é obviamente necessário o desenvolvimento adicional de diretrizes práticas. Frequentemente, a questão principal será como lidar com a falta de dados. Que tipo de informação básica deveria ser utilizada nessas circunstâncias e o que poderia ser simplificado? O grande desafio é, portanto, desenvolver diretrizes mais detalhadas, considerando quais informações de referências podem ser utilizadas quando não existem estimativas locais precisas. Neste contexto, é importante desenvolver um banco de dados com estimativas de referência de pegada hídrica para uma grande variedade de processos e produtos, de acordo com as diferenças existentes entre cada região (tais como países). Isso seria muito útil para avaliar as pegadas hídricas dos consumidores ou produtores que sabem o que compram/utilizam, mas muitas vezes não conhecem todos os detalhes relevantes da produção e da cadeia de suprimento dos artigos comprados.

Uma questão prática referente ao cálculo da pegada hídrica é o problema do truncamento que já foi discutido na Seção 2.2. A questão aqui é o que deve ser incluído e o que pode ser excluído da análise. Ao aplicar-se um escopo muito amplo de análise ao estimar a pegada hídrica de um produto específico, podemos descobrir que alguns componentes não contribuem significativamente para a pegada hídrica geral do produto e que uma rastreabilidade contínua da cadeia produtiva não gera valor adicional. São necessárias mais experiências práticas com relação ao cálculo da pegada hídrica de diversos produtos para que se possa desenvolver orientações práticas sobre o que – como regra – será excluído da análise da pegada hídrica do produto. Estas experiências serão importantes também para ajudar a definir quais produtos finais ou insumos podem ser excluídos da análise da pegada hídrica do consumidor ou da empresa, respectivamente.

Uma questão que ainda não recebeu a devida atenção é como lidar com a variabilidade e as mudanças ao longo do tempo. Muitos tipos de uso de água variam ao longo dos anos como, por exemplo, o uso da água para irrigação na agricultura, que depende de um padrão de chuvas em um determinado ano (Garrido ET AL, 2010). Além disso, a produtividade da água pode variar de um ano para outro devido a diversos fatores

(incluindo fatores que não têm nenhuma relação com a água), o que acarreta variações na pegada hídrica ao longo dos anos. Dessa forma, as alterações ocorridas na pegada hídrica de um ano para outro não podem simplesmente ser interpretadas como uma melhoria ou um agravamento estrutural no uso da água. Por este motivo, os dados referentes à pegada hídrica geralmente apresentarão um cenário mais significativo se mostrarem as médias de um determinado número de anos. Aí surge outra questão: o que pode ser considerado como o melhor período de análise: cinco, dez ou mais anos? A partir de que período será possível determinar uma tendência temporal? Além disso, será melhor analisar determinados dados ao longo de um período bem longo (30 anos, por exemplo, como ocorre com os dados sobre o clima), enquanto outros tipos de dados podem ser tomados em bases anuais ou pela média de um período de apenas cinco anos. Seria útil desenvolver diretrizes a esse respeito, considerando que, ao final, as escolhas irão depender do propósito da análise.

A questão das incertezas está relacionada à da variabilidade, porém dentro de um escopo muito mais amplo. As incertezas dos dados utilizados no cálculo da pegada hídrica podem ser muito significativas, o que significa que os resultados devem ser cuidadosamente interpretados. É definitivamente aconselhável fazer uma análise das incertezas embora muitas vezes não haja tempo suficiente para realizar uma análise muito profunda de sensibilidade e de incerteza. Seria útil ter pelo menos algumas indicações preliminares que mostrassem a magnitude das incertezas nos diversos tipos de cálculos de pegadas hídrica, para servirem de referência. Atualmente, não existem estudos disponíveis sobre incertezas.

Com relação aos detalhes do cálculo da pegada hídrica é possível que se considere que a distinção entre as pegadas hídricas verde, azul e cinza é muito rudimentar. Se for necessário, é possível separar os cálculos das pegadas hídricas azuis, por exemplo, em cálculos das pegadas hídricas de superfície, de água subterrânea renovável e fóssil (veja a Seção 3.3.1). A pegada hídrica cinza pode ser separada de acordo com os cálculos das pegadas relacionadas a poluentes específicos (veja a Seção 3.3.3).

No caso da pegada hídrica cinza, um dos desafios é formular diretrizes sobre como definir as concentrações naturais e as concentrações máximas permitidas. Idealmente, ambas deveriam ser específicas para cada bacia, mas em muitos casos esse tipo de informação não está disponível. As diretrizes poderiam sugerir a adoção de uma concentração natural igual a zero para uma lista específica de algumas substâncias químicas e recomendar suposições no caso de outras quando os valores de uma determinada bacia não estiverem disponíveis. Além disso, outra questão que precisa ser esclarecida é se é melhor considerar, por exemplo, as concentrações diárias ou as concentrações médias mensais. As concentrações máximas permitidas para a qualidade da água em seu estado natural não estão disponíveis para todas as substâncias; para esses casos, é importante que existam diretrizes que recomendem quais são os melhores valores-padrão que devem ser utilizados.

Uma questão relativa à contabilização da pegada hídrica azul é saber quais são as melhores resoluções e escalas que devem ser utilizadas. O que fazer quando a água

é captada em um local e lançada em outro a jusante? De acordo com a definição, a pegada hídrica azul está relacionada ao "uso consuntivo da água", que se refere à evapotranspiração, à incorporação da água em um produto ou à água que não retorna para a mesma bacia da qual foi retirada. Obviamente, é a escala da análise que vai definir se a vazão de retorno a jusante da captação é consuntiva ou não. Pode haver casos de dúvida onde, em um nível local o uso da água é considerado consuntivo, mas em uma escala mais ampla ela retorna e, assim, o uso não é considerado consuntivo. Onde traçar a linha divisória é algo que ainda precisa ser estabelecido de acordo com o avanço dos estudos e após bons argumentos sobre a definição da escala adequada. Outra questão é o que fazer quando a água subterrânea é retirada e devolvida à água de superfície, após o seu uso. Quando a água azul – tanto a subterrânea, quanto a de superfície – é considerada como uma categoria, esse tipo de interferência não se refletirá na pegada hídrica azul. Em muitos casos isso não é um problema, mas pode ser necessário distinguir a pegada hídrica azul de água subterrânea da pegada hídrica azul de água de superfície em estudos mais detalhados. Além disso, no caso da água subterrânea, há uma diferença crucial entre a água subterrânea renovável e a água subterrânea fóssil.

Um aprimoramento interessante é o uso do sensoriamento remoto para estimar as pegadas hídricas verde e azul na agricultura, com alta resolução espacial e temporal (Zwart et al, 2010; Romaguera et al, 2010); porém, é necessário realizar mais pesquisas para validar essa abordagem e operacionalizá-la.

Também é necessário realizar mais pesquisas sobre a quantificação das "demandas de vazão ambiental" (Anexo V) e das "demandas ambientais de água verde" (Quadro 4.3) para cada bacia hidrográfica, pois estes dados são essenciais para a avaliação da sustentabilidade das pegadas hídricas azul e verde das bacias, respectivamente. Mais pesquisas também são necessárias com relação à quantificação do rebaixamento máximo permitido dos níveis da água subterrânea e dos lagos (Quadro 4.5), de acordo com o contexto específico de cada um.

O capítulo sobre a avaliação de sustentabilidade da pegada hídrica mostrou que a definição dos critérios de sustentabilidade merece mais atenção, principalmente aqueles relativos à sustentabilidade econômica e social (Seções 4.2.3 – 4.2.4). Além disso, ficou claro que a investigação de impactos primários e secundários depende muito dos tipos de impacto que foram incluídos ou excluídos da avaliação. O presente manual oferece poucas orientações sobre os impactos que devem, ao menos, ser levados em consideração e aqueles que podem ser considerados menos importantes. Pode ser interessante desenvolver mais diretrizes sobre os tipos de impactos que deverão ser incluídos dependendo do propósito da análise.

Por fim, é necessário compreender como os diferentes tipos de respostas, na forma de políticas públicas, podem contribuir para a redução das pegadas hídricas verde, azul e cinza de diversas atividades, incluindo as percepções referentes à efetividade dos diferentes tipos de ações.

7.2 Aplicação da pegada hídrica em diferentes contextos

O número de aplicações do conceito da pegada hídrica está crescendo rapidamente. Como pode ser visto no resumo fornecido na Tabela 7.1, a maioria dos estudos foi publicada após 2007. Os diversos estudos de pegada hídrica que foram realizados até o momento podem ser categorizados como: estudos globais, nacionais, regionais e de bacias hidrográficas, estudos de produtos gerais e de empresas. Poucos estudos abordam todas as fases de avaliação da pegada hídrica, a maioria dos estudos apresenta foco maior ou total na fase de contabilização da pegada hídrica. O principal desafio com relação aos estudos futuros é abordar também as fases de avaliação de sustentabilidade e de formulação de respostas/ações.

Tabela 7.1 *Uma visão geral dos estudos de pegada hídrica*

Estudos globais e supranacionais sobre o comércio de água virtual e a pegada hídrica	• Global: Hoekstra e Hung (2002, 2005); Hoekstra (2003, 2006, 2008b); Chapagain e Hoekstra (2004, 2008); Hoekstra e Chapagain (2007a, 2008); Liu et al (2009); Siebert e Döll (2010) • Ásia Central: Aldaya et al (2010c)
Estudos sub-nacionais sobre a pegada hídrica e o comércio de água virtual	• China (Ma et al, 2006; Liu e Savenije, 2008; Hubacek et al, 2009; Zhao et al, 2009) • Alemanha (Sonnenberg et al, 2009) • Índia (Kumar e Jain, 2007; Kampman et al, 2008; Verma et al, 2009) • Indonésia (Bulsink et al, 2010) • Marrocos (Hoekstra e Chapagain, 2007b) • Holanda (Hoekstra e Chapagain, 2007b; Van Oel et al, 2008, 2009) • Romênia (Ene e Teodosiu, 2009) • Espanha (Novo et al, 2009; Aldaya et al, 2010b; Garrido et al, 2010) • Tunísia (Chahed et al, 2008) • Reino Unido (Chapagain e Orr, 2008; Yu et al, 2010)
Estudos sub-nacionais sobre a pegada hídrica e o comércio de água virtual	• Províncias chinesas (Ma et al, 2006) • Cidade de Pequim (Wang e Wang, 2009) • Estados indianos (Kampman et al, 2008) • Região da Mancha Ocidental, Espanha (Aldaya et al, 2010d) • Andaluzia, Espanha (Dietzenbacher e Velazquez, 2007) • West Bank, Palestina (Nazer et al, 2008) • Bacia do Rio Guadiana, Espanha (Aldaya e Llamas, 2008) • Baixo Vale de Fraser e bacia do Rio Okanagan, Canadá (Brown et al, 2009) • Bacia do Rio Nilo, África (Zeitoun et al, 2010)

Estudos sobre a pegada hídrica de produtos	• Bioenergia (Gerbens-Leenes et al, 2009a, 2009b; Gerbens-Leenes e Hoekstra, 2009, 2010; Dominguez-Faus et al, 2009; Yang et al, 2009; Galan-del-Castillo e Velazquez, 2010; Van Lienden et al, 2010) • Café (Chapagain e Hoekstra, 2007; Humbert et al, 2009) • Algodão (Chapagain et al, 2006b) • Flores (Mekonnen e Hoekstra, 2010b) • Jatrofa (Jongschaap et al, 2009; Maes et al, 2009; Gerbens-Leenes et al, 2009c; Hoekstra et al, 2009c) • Manga (Ridoutt et al, 2010) • Milho (Aldaya et al, 2010a) • Carne (Chapagain e Hoekstra, 2003; Galloway et al, 2007; Hoekstra, 2010b) • Cebola (IFC et al, 2010) • Papel (Van Oel e Hoekstra, 2010) • Massa (Aldaya e Hoekstra, 2010) • Pizza (Aldaya e Hoekstra, 2010) • Arroz (Chapagain e Hoekstra, 2010) • Refrigerante (Ercin et al, 2009) • Soja (Aldaya et al, 2010a) • Açúcar (Gerbens-Leenes e Hoekstra, 2009) • Chá (Chapagain e Hoekstra, 2007) • Tomate (Chapagain e Orr, 2009) • Trigo (Liu et al, 2007; Aldaya et al, 2010a; Zwart et al, 2010; Mekonnen e Hoekstra, 2010a) • Alimentos em geral (Chapagain e Hoekstra, 2004; Hoekstra e Chapagain, 2008; Hoekstra, 2008c)
Estudos sobre a pegada hídrica de empresas	• Cerveja de SABMiller (SABMiller e WPH-UK, 2009; SABMiller et al, 2010) • Refrigerante à base de cola e suco de laranja da empresa Coca-Cola (TCCC e TNC, 2010) • Cereais matinais da Nestlé (Chapagain e Orr, 2010) • Doces e molho de macarrão da Mars (Ridoutt et al, 2009)

7.3 Incorporando a pegada hídrica aos cálculos e relatórios hídricos e ambientais

As estatísticas tradicionais sobre o uso da água – sejam cálculos corporativos ou nacionais – se restringem mais às captações de água. A base de dados é bem limitada nesse sentido, pois ignora o uso das águas cinza e verde e desconsidera ainda o uso indireto da água. No caso dos cálculos corporativos a abordagem tradicional não envolve o consumo e a poluição da água na cadeia produtiva. No caso dos cálculos nacionais, a abordagem convencional negligencia as importações e exportações de água virtual e o fato de que parte da pegada hídrica do consumo nacional está localizada fora do país. Será necessário começar a incorporar gradualmente as estatísticas da pegada hídrica nas estatísticas do governo, bem como inseri-las de modo que possam ser disponibilizadas nas estatísticas internacionais como, por exemplo, da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO-AQUASTAT, FAOSTAT), do Programa das Nações Unidas para

o Meio Ambiente (PNUMA – Portal de dados GEO), do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), da Conferência das Nações Unidas para o Comércio e o Desenvolvimento (UNCTAD), da Divisão de Estatísticas das Nações Unidas, da Comissão Europeia (Eurostat) e do Banco Mundial. As estatísticas da pegada hídrica nacional já foram incluídas em diversas publicações sobre a situação do planeta (WPH, 2008, 2010; Nações Unidas, 2010a). No caso das empresas será preciso começar a incorporar os cálculos da pegada hídrica aos relatórios corporativos sobre meio ambiente e sustentabilidade.

7.4 A relação da pegada hídrica com os métodos das pegadas ecológica, de energia e de carbono

A pegada hídrica é parte de uma família de conceitos de pegadas. O mais antigo é o conceito da pegada ecológica, apresentado na década de 90 por William Rees e Mathis Wackernagel (Rees, 1992; 1996; Rees e Wackernagel, 1994; Wackernagel e Rees, 1996). A pegada ecológica afere o uso do espaço bioprodutivo disponível e é calculada em hectares. O conceito da pegada de carbono originou-se da discussão da pegada ecológica e tornou-se mais conhecido após 2005 (Safire, 2008). A pegada de carbono se refere à soma das emissões de gases de efeito estufa (GEE) gerados por uma organização, evento ou produto e é expressa em unidades de CO2 equivalente. Embora o conceito da pegada de carbono seja relativamente novo, a ideia de calcular as emissões de GEE já é muito antiga; a primeira avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), por exemplo, já remonta a 1990. Mais antigos ainda do que os conceitos das pegadas ecológica e de carbono são os conceitos de "energia incorporada" e "emergia", aplicados em estudos de energia (Odum, 1996; Herendeen, 2004). Estes conceitos se referem à energia total utilizada para elaborar um produto e são expressos em joules.

A pegada hídrica foi introduzida no campo dos estudos sobre a água em 2002 (Hoekstra, 2003). O termo foi escolhido em analogia ao conceito da pegada ecológica, mas as raízes da pegada hídrica estão mais presentes nos estudos hídricos do que nos estudos ambientais. Embora os conceitos das pegadas ecológica, hídrica, de carbono e de energia incorporada sejam bastante relacionados entre si, cada um deles tem origens específicas. Consequentemente, os métodos utilizados para quantificar os diferentes indicadores apresentam semelhanças e diferenças marcantes. Duas diferenças entre a pegada ecológica e a pegada hídrica são que, por exemplo, as pegadas ecológicas geralmente são calculadas com base nas produtividades médias globais, enquanto as pegadas hídricas são calculadas com base nas produtividades locais; e que as pegadas ecológicas geralmente não são espacialmente explícitas, enquanto as pegadas hídricas são (Hoekstra, 2009).

Os diversos conceitos de "pegada" devem ser considerados como indicadores complementares do uso do capital natural em relação a consumo por parte do homem. Nenhum indicador pode ser substituído por outros indicadores, simplesmente porque

cada um fornece informações diferentes e complementares. Observar apenas as necessidades de área ou as demandas hídricas ou energéticas não é suficiente, pois da mesma forma que a terra disponível pode ser um fator crítico para o desenvolvimento, a energia e a água doce disponíveis também podem ser. Um desafio para as pesquisas futuras é agrupar os diversos conceitos de pegadas e os métodos relacionados em uma estrutura conceitual e analítica consistente.

7.5 Relação da pegada hídrica com a análise de fluxo de materiais, a modelagem insumo-produto e a avaliação do ciclo de vida

A análise do fluxo de materiais (AFM) é um método utilizado para analisar o fluxo dos materiais em um sistema bem definido. Em uma escala nacional ou regional a AFM pode ser utilizada para estudar as trocas de materiais dentro de uma determinada economia, bem como entre uma economia e o ambiente natural. No caso das indústrias a AFM pode ser utilizada para analisar os fluxos de materiais dentro de uma empresa ou ao longo de uma cadeia de fornecimento industrial que envolva um determinado número de empresas. Quando aplicada a um produto específico a AFM se refere ao estudo de insumos (recursos) e produtos (emissões) ao longo das diversas fases do seu sistema produtivo. Este último tipo de análise de fluxo de material é semelhante à chamada "fase de inventário" da avaliação do ciclo de vida (ACV). A ACV consiste na investigação e avaliação dos impactos ambientais de um determinado produto ou serviço e é composta por quatro fases: objetivo e escopo, inventário do ciclo de vida, avaliação dos impactos no ciclo de vida e interpretação (Rebitzer et al., 2004).

Estruturas como a AFM, a ACV e a modelagem insumo-produto consideram o uso de diversos tipos de recursos ambientais e observam os diferentes tipos de impactos causados no ambiente. Em contrapartida, as pegadas ecológica, hídrica, de carbono e as análises de energia incorporada adotam a perspectiva de um recurso ou impacto em particular. Embora pareça lógico que as "pegadas" sejam precisamente os indicadores tipicamente utilizados nas AFM, ACV e estudos de insumo-produto, os métodos aplicados nos estudos de pegadas e os aplicados nos de AFM, ACV e insumo-produto não formam uma estrutura metodológica coerente. Até o momento, do ponto de vista da água doce as abordagens de AFM, ACV e os estudos de insumo-produto não incluem a questão hídrica de modo adequado.

Na comunidade de pesquisa da relação insumo-produto, há um interesse crescente em incluir a questão da água (veja, por exemplo, Dietzenbacher e Velazquez, 2007; Zhao et al, 2009; Wang e Wang, 2009; Yu et al, 2010). Os estudos de pegada hídrica podem fornecer dados sobre a pegada hídrica operacional de cada setor econômico que são informações necessárias para aprofundar os estudos de insumo-produto do ponto de vista ambiental visando incluir o uso de água doce.

Na comunidade de ACV também há um interesse crescente na questão da água (Koehler, 2008; Milà i Canals et al, 2009). Os estudos de ACV visam avaliar o impacto ambiental total dos produtos. Até bem pouco tempo o uso da água doce não recebia a

devida atenção nos estudos de ACV. Há dois problemas específicos. Em primeiro lugar, os recursos de água doce no mundo são limitados, portanto, medir a apropriação da água doce observando o consumo e a poluição da água em termos de volumes deveria ser um elemento-chave para os estudos de ACV. As pegadas hídricas verde, azul e cinza de um produto são bons indicadores da apropriação total da água doce. Em segundo lugar, é possível observar os *impactos ambientais locais* relacionados à apropriação da água doce. Para esta finalidade, o cálculo da pegada hídrica e a avaliação de sustentabilidade podem ser úteis para os estudos de ACV, conforme o resumo apresentado na Tabela 7.2. O cálculo da pegada hídrica de um produto contribui para o inventário do ciclo de vida do produto; a avaliação da sustentabilidade da pegada hídrica contribui para a avaliação de impacto do ciclo de vida.

Tabela 7.2 *Como as avaliações da pegada hídrica podem ser utilizadas na ACV*

Fase de avaliação da pegada hídrica	***Resultado***	***Significado físico***	***Resolução***	***Fase da ACV***
Cálculo da pegada hídrica do produto (Seção 3.4)	Pegadas hídricas verdes, azuis e cinzas (volumétrico)	Volume de água consumido ou poluído por unidade de produto	Espaço-temporalidade explícita	Inventário do ciclo de vida
Avaliação de sustentabilidade da pegada hídrica do produto (Seção 4.4.1)	Uma avaliação da sustentabilidade das pegadas hídricas cinza, verde e azul de produtos de uma perspectiva ambiental, social e econômica	Diversas variáveis mensuráveis de impacto	Espaço-temporalidade explícita	Avaliação de impacto do ciclo de vida
Compilação das informações selecionadas a partir da avaliação de sustentabilidade da pegada hídrica (Seção 4.4.2)	Índices de impacto da pegada hídrica agrupados	Nenhum	Espaço-temporalidade não explícita	

Fonte: Baseada em Hoekstra et al (2009b)

Alguns autores de ACV sugeriram o uso do termo "pegada hídrica" para o que chamamos neste manual de "índice de impacto da pegada hídrica azul" (Seção 4.4.2). Dessa forma, o termo "pegada hídrica" não seria mais uma medida volumétrica da

apropriação da água doce, mas um índice de impacto ambiental local (Pfister et al, 2009; Ridoutt et al, 2009; Ridoutt e Pfister, 2010; Berger e Finkbeiner, 2010). Também foi proposto negligenciar as pegadas hídricas verdes, porque os impactos seriam nulos (Pfister e Hellweg, 2009). Entretanto, redefinir a pegada hídrica não faz sentido do ponto de vista da gestão de recursos hídricos, que demanda informações espaciais e temporais explícitas sobre as pegadas hídricas tanto em volumes reais quanto em impactos reais. Os estudos de pegadas hídricas promovem dois aspectos relacionados à gestão dos recursos hídricos. Primeiro, as informações sobre as pegadas hídricas de produtos, consumidores e produtores fornecem dados sobre o uso e a alocação sustentáveis, equitativos e eficientes da água doce. A água doce é escassa e sua disponibilidade anual é limitada. É importante saber quem recebeu qual porção e como a água é alocada para os diferentes propósitos. Por exemplo, a água da chuva utilizada para a bioenergia não pode ser utilizada para a produção de alimentos. Segundo, os cálculos de pegada hídrica ajudam a estimar os impactos econômicos, sociais e ambientais no nível da bacia hidrográfica. A avaliação de impacto ambiental deveria incluir uma comparação entre cada componente da pegada hídrica e a água disponível em locais e períodos relevantes (contando para as demandas ambientais de água). A proposta de utilização do termo pegada hídrica para o que chamamos aqui de "índice de impacto da pegada hídrica azul", é altamente confusa. Foi proposto que a pegada hídrica deveria incluir o impacto ambiental porque o mesmo seria feito em relação à pegada de carbono, ou seja, através da pesagem dos diferentes gases de efeito estufa, expressa em unidades de equivalente em CO_2. O fato de os gases de efeito estufa serem medidos em unidades equivalentes de CO_2, entretanto, não significa que a pegada de carbono reflita os impactos ambientais causados por estes gases. A pegada de carbono consiste na medição da quantidade de gases do efeito estufa que são lançados no meio ambiente, em decorrência de atividades humanas. Não mostra nada que possa ser chamado de "impacto". Ela só mede as emissões, que são submetidas a um denominador comum. A pegada de carbono não descreve o impacto ambiental dos gases de efeito estufa, tais como as elevações de temperatura e as alterações ocorridas nos padrões de evaporação e precipitação. Neste sentido, a pegada hídrica, a pegada de carbono e a pegada ecológica são conceitos semelhantes. A pegada de carbono mede as emissões totais de gases de efeito estufa; a pegada ecológica mede o uso total do espaço bioprodutivo; a pegada hídrica mede a apropriação total de água doce. O uso total do espaço ou dos recursos hídricos não reflete impactos, da mesma forma que a emissão total de gases de efeito estufa também não reflete impactos. As pegadas demonstram as pressões impostas pelo homem ao meio ambiente, não os impactos.

Capítulo 8

Conclusão

Este manual contém o padrão global para a definição dos termos e do método de avaliação da pegada hídrica. Este padrão foi desenvolvido ao longo dos últimos dois anos, durante um processo aberto e transparente, facilitado pela Rede da Pegada Hídrica (Water Footprint Network). Devido ao envolvimento de um grande número de organizações de todo o mundo que já trabalham com o conceito da pegada hídrica, este passou a ser um verdadeiro padrão global compartilhado. A existência de um padrão único e compartilhado é cada vez mais importante já que o processo de comunicação a respeito das pegadas hídricas e das reduções almejadas ficará extremamente confuso se as diversas partes interessadas utilizarem diferentes meios para definir e calcular estas pegadas.

Certamente os desenvolvimentos futuros permitirão o refinamento do padrão e, principalmente, o desenvolvimento de diretrizes práticas. Após oito anos de desenvolvimento contínuo o método de cálculo da pegada hídrica (Capítulo 3) está firmemente estabelecido e amplamente adotado, tanto na comunidade científica quanto na prática. A utilização crescente da pegada hídrica em contextos práticos nos últimos anos contribuiu para o amadurecimento do conceito. Contudo, ainda restam muitos desafios incluindo o desenvolvimento de diretrizes práticas por categoria de produto e por setor de negócios, sobre como truncar a análise (onde parar a análise nas cadeias produtivas), regras sobre como contabilizar as incertezas e como lidar com a variabilidade temporal ao realizar as análises de tendências. Além disso, outro grande desafio é desenvolver um banco de dados sobre as pegadas hídricas típicas de processos (o componente básico para cada análise). Seguir as diretrizes referentes ao cálculo da pegada hídrica fornecidas neste manual é muito mais trabalhoso do que utilizar uma simples ferramenta de computador para conduzir a análise. Portanto, desenvolver essa ferramenta em conjunto com bancos de dados básicos faz parte do programa de trabalho da Rede da Pegada Hídrica.

Os capítulos sobre a avaliação de sustentabilidade da pegada hídrica e as opções de resposta (Capítulos 4 e 5) estão menos amadurecidos do que o capítulo sobre o cálculo da pegada hídrica. Isto se deve ao fato de que essas duas fases de avaliação da pegada hídrica receberam menos atenção até o momento, tanto em estudos científicos quanto na prática. O capítulo sobre a avaliação de sustentabilidade da pegada hídrica limita-se a uma descrição do procedimento de avaliação de sustentabilidade e uma discussão sobre os principais critérios de sustentabilidade a serem considerados. O capítulo sobre as

opções de resposta consiste, principalmente, em um inventário de ações que podem ser consideradas. Neste sentido, o manual oferece uma estrutura de referência para analisar a sustentabilidade e as opções de resposta ao invés de se aprofundar em como conduzir uma avaliação de impacto total ou como estudar mais detalhadamente as implicações, os pontos fortes e fracos de determinadas ações. Além disso, vale ressaltar que os capítulos sobre a avaliação de sustentabilidade e as respostas não devem ser interpretados como receitas que contêm soluções finais sobre o que fazer. Embora a ideia da existência de uma receita seja atraente para alguns(na rotina diária das empresas, seria útil se existissem regulamentos claros e concisos), a realidade é que avaliar a sustentabilidade e formular respostas são atividades que envolvem muita subjetividade e inúmeros valores associados. O objetivo dos capítulos sobre avaliação de sustentabilidade da pegada hídrica e as políticas de opções de resposta é oferecer uma orientação geral e não uma receita detalhada.

O amplo interesse no conceito e na metodologia da pegada hídrica se iniciou em setembro de 2007 em uma pequena reunião entre representantes da sociedade civil, de setores empresariais, setores acadêmicos e da ONU. Desde então, o interesse em inserir a pegada hídrica nas políticas governamentais e em estratégias corporativas vem crescendo continuamente. Foi a partir deste processo que a Rede da Pegada Hídrica foi fundada em 16 de Outubro de 2008. Doze meses depois, a rede já contava com 76 parceiros oriundos de todos os continentes e de todos os setores: governamental, empresarial, investidores, sociedade civil, instituições intergovernamentais, consultores, universidades e institutos de pesquisas. Na época da finalização deste manual em 16 de Outubro de 2010, exatamente dois anos após sua fundação, a WFN já contava com 130 associados. Um dos maiores desafios é preservar uma linguagem compartilhada no campo da avaliação da pegada hídrica, pois as metas concretas com relação ao uso sustentável dos recursos hídricos somente serão transparentes, significativas e eficazes quando formuladas com base em uma terminologia comum e uma metodologia de cálculo compartilhada. Este manual de avaliação da pegada hídrica fornece essa base comum. Os ajustes e refinamentos deste manual serão realizados no futuro com base em novas pesquisas e novos desenvolvimentos, bem como na experiência dos profissionais que utilizarem o método em suas atividades.

Anexo I

Cálculo das Evapotranspirações Verde e Azul usando o modelo CROPWAT

A 'opção DHC' no modelo CROPWAT

As evapotranspirações azul e verde durante o crescimento da cultura podem ser estimadas com base no modelo CROPWAT, da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO, 2010b). O modelo oferece duas alternativas. A opção mais simples, embora seja a menos precisa, é a 'opção DHC[1]'. Nessa opção, considera-se que não há limitações hídricas para o crescimento de culturas. O modelo calcula: (i) a demanda hídrica da cultura (*DHC*) durante todo o período de crescimento sob circunstâncias climáticas específicas; (ii) a precipitação efetiva durante o mesmo período; e (iii) a necessidade de irrigação.

A demanda hídrica da cultura (DHC) consiste na quantidade de água necessária para a evapotranspiração dentro das condições ideais desde o plantio até a colheita. O termo 'condições ideais' significa que a quantidade de água suficiente para o solo é mantida através da chuva e/ou da irrigação com o propósito de não limitar o crescimento e a produtividade da cultura. Basicamente, a DHC é calculada pela multiplicação da evapotranspiração de referência da cultura (ET_o) pelo seu coeficiente de cultura (K_c): $DHC = K_c \times ET_o$. Considera-se que a DHC é totalmente atendida quando a evapotranspiração real da cultura (ET_c) for igual à demanda hídrica da cultura: $ET_c = DHC$.

A evapotranspiração de referência da cultura ET_o consiste na taxa de evapotranspiração de uma superfície de referência que não sofre déficit hídrico. A cultura de referência é uma superfície hipotética com vasta cobertura de grama verde e características padronizadas específicas. Portanto, os únicos fatores que podem afetar a ET_o são os parâmetros climáticos. A ET_o expressa o poder da evaporação da atmosfera em um local e período específicos do ano e não considera as características da cultura e os fatores relacionados ao solo. A evapotranspiração real da cultura sob condições ideais difere bastante da evapotranspiração da cultura de referência, visto que a cobertura do solo, as propriedades de dossel e a resistência aerodinâmica da cultura são diferentes das características da grama utilizadas como referência. Os efeitos das características que distinguem as lavouras dos campos de grama estão integrados no coeficiente de cultura (K_c). O coeficiente de cultura varia ao longo do período de crescimento. Os valores para

1 CWR – Crop Water Requirement – na sigla em inglês

K_c ao longo do período de crescimento podem ser obtidos através da literatura disponível (por exemplo, Allen et al, 1998). Uma alternativa é calcular o K_c como a soma de K_{cb} e K_e, onde K_{cb} significa coeficiente basal de cultura e K_e o coeficiente de evaporação do solo. O coeficiente basal de cultura é definido através da relação da evapotranspiração da cultura com a evapotranspiração de referência (ET_c/ET_o), quando a superfície do solo está seca, mas a transpiração ocorre em uma taxa potencial máxima; em outras palavras, quando a água do solo não limita a transpiração. Portanto, $K_{cb} \times ET_o$ representa, primeiramente, o componente de transpiração da ET_c, mas também inclui um componente difusor de evaporação residual fornecido pela água proveniente do solo que se encontra logo abaixo da superfície seca e pela água do solo localizado sob a vegetação densa. O coeficiente de evaporação do solo K_e descreve o componente de evaporação da ET_c. Quando o solo superficial estiver molhado, após a ocorrência de chuva ou irrigação, o valor de K_e é máximo; quando a superfície do solo estiver seca o K_e é baixo ou equivalente a zero se não houver mais água próxima à superfície do solo para que ocorra a evaporação. Diversas técnicas de irrigação umedecem a superfície do solo em graus diferentes. A irrigação por aspersão, por exemplo, molha mais o solo do que a irrigação por gotejamento gerando um K_e alto imediatamente após a irrigação. Consequentemente, os índices de K_e e ET_c também serão altos. O modelo CROPWAT, entretanto, não permite a especificação de K_{cb} e K_e separadamente; ele requer a especificação do K_c resultante. Além disso, o K_c não pode ser especificado por dia, mas somente para três períodos distintos durante o período de crescimento, de modo que o efeito das diferentes técnicas de irrigação só pode ser simulado no CROPWAT fazendo um ajuste aproximado no K_c como uma função da técnica de irrigação empregada. Em média, o K_c será mais alto quando as técnicas de irrigação forem aplicadas de forma a molhar o solo mais intensamente do que em técnicas que não molham muito a superfície do solo. Como uma alternativa ao CROPWAT é possível usar o AQUACROP (FAO, 2010e), um modelo de colheita que simula melhor a produtividade da cultura sob condições de estresse hídrico e que separa o K_{cb} do K_e.

A precipitação efetiva (P_{efet}) refere-se a uma parte da quantidade total de precipitação que é retida pelo solo e fica potencialmente disponível para atender as demandas hídricas da cultura. Geralmente, a precipitação efetiva é menor do que a quantidade total de chuva, pois nem toda água de chuva pode ser apropriada pela cultura, devido, por exemplo, ao escoamento superficial ou percolação (Dastane, 1978). Há várias maneiras de estimar a precipitação efetiva baseada na precipitação total; Smith (1992) recomenda o método USDA SCS (método do Serviço de Conservação do Solo do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos). Este é um dos quatro métodos alternativos que os usuários do CROPWAT podem escolher.

A necessidade de irrigação (IR) é calculada com base na diferença entre a DHC e a precipitação efetiva. A necessidade de irrigação será igual a zero se a precipitação efetiva for maior do que a DHC. Isso significa: IR = máx (0, $DHC - P_{efet}$), e considera-se que as necessidades de irrigação são totalmente atendidas. A evapotranspiração de água verde (ET_{verde}), em outras palavras, a evapotranspiração de água da chuva, pode ser definida

como o valor mínimo entre a evapotranspiração total da cultura (ET_c) e a precipitação efetiva (P_{efet}). A evapotranspiração de água azul (ET_{azul}), ou a evapotranspiração da água irrigada no campo, é igual à evapotranspiração total da cultura menos a precipitação efetiva (P_{efet}), e será igual a zero quando esta exceder a evapotranspiração da cultura:

$$ET_{verde} = \min (ET_c , P_{efet}) \qquad \text{[comprimento/tempo]} \qquad (59)$$

$$ET_{azul} = \min (0, ET_c - P_{efet}) \qquad \text{[comprimento/tempo]} \qquad (60)$$

Todos os fluxos são expressos em mm/dia ou em mm por período de simulação (por exemplo, dez dias).

A 'opção do calendário de irrigação' no modelo CROPWAT

As evapotranspirações de água azul e verde durante o desenvolvimento da cultura podem ser estimadas através do modelo CROPWAT da FAO (FAO, 2010b). O modelo oferece duas alternativas. A 'opção do calendário de irrigação' é mais precisa e não é muito mais complexa do que a 'opção DHC', permitindo a especificação da irrigação real para todo o período de crescimento. O modelo não adota o conceito da precipitação efetiva (como no caso da 'opção DHC', exposto acima). Ao invés disso, o modelo inclui um balanço hídrico no solo que acompanha o teor da umidade do solo ao longo do tempo com base em um intervalo de tempo diário. Por essa razão, é necessário alimentar o modelo com dados referentes ao tipo de solo. A evapotranspiração calculada é chamada de ET_a, a evapotranspiração ajustada da cultura, que pode ser menor do que a ET_c devido a condições não ótimas. A ET_a é calculada como a evapotranspiração de cultura sob condições ideais (ET_c), multiplicada pelo coeficiente de estresse hídrico (Ks):

$$ET_a = K_s \times ET_c = K_s \times K_c \times ET_o \qquad \text{[comprimento/tempo]} \qquad (61)$$

O coeficiente de estresse K_s descreve o efeito do estresse hídrico na transpiração da cultura. Quando há condições que limitam a água no solo, $K_s < 1$; quando não há estresse hídrico no solo, $K_s = 1$. Para o coeficiente de cultura K_c, pode-se dizer o mesmo que já foi dito sobre a 'opção DHC' acima.

As *condições de sequeiro* podem ser simuladas pelo modelo quando se opta pela não irrigação. No cenário de sequeiro a evapotranspiração de água verde (ET_{verde}) é igual

à evapotranspiração total simulada pelo modelo e a evapotranspiração de água azul (ET_{azul}) é igual a zero.

As *condições de irrigação* podem ser simuladas ao especificar o método de irrigação. Diferentes opções de periodicidade e aplicação podem ser selecionadas de acordo com a estratégia real de irrigação. A opção padrão de 'irrigar quando o índice de depleção for crítico' e 'recompor o solo até a capacidade de campo', considera que a irrigação 'ideal' é aquela que apresenta intervalos máximos de irrigação ao mesmo tempo em que evita qualquer estresse hídrico. A lâmina média da irrigação por período está relacionada ao método de irrigação selecionado. Geralmente, no caso de sistemas de irrigação de alta frequência, tais como a micro-irrigação e pivô central, são aplicados aproximadamente 10 mm ou menos por vez. No caso da irrigação de superfície ou por aspersão, profundidades de irrigação iguais ou maiores que 40 mm são comuns. Após rodar o modelo com as opções de irrigação selecionadas, o total de água evapotranspirada (ET_a) durante o período de crescimento é igual ao chamado 'uso real da água pela cultura', conforme o output do modelo. A água azul evapotranspirada (ET_{azul}) é equivalente ao mínimo entre a 'irrigação líquida total' e as 'demandas reais de irrigação', conforme especificado no resultado do modelo. A água verde evapotranspirada (ET_{verde}) é igual ao total de água evapotranspirada (ET_a) menos a água azul evapotranspirada (ET_{azul}), conforme simulado no cenário de irrigação selecionado.

Alternativamente, é possível simular dois cenários: com e sem irrigação. Em ambos é necessário considerar as características da cultura (tais como a profundidade de enraizamento), conforme se apresentam nas condições de irrigação, já que essas características podem variar consideravelmente nas agriculturas irrigadas e de sequeiro. A evapotranspiração de água verde sob condições de irrigação pode ser estimada assumindo-se que ela é igual à evapotranspiração total, conforme simulado no cenário sem irrigação. A evapotranspiração de água azul pode ser calculada como a evapotranspiração total, conforme simulado no cenário com irrigação, menos a evapotranspiração de água verde estimada.

Observe que ao longo de todo o período de crescimento a evapotranspiração de água azul é geralmente menor do que o volume de irrigação real aplicado. A diferença se refere à água de irrigação que infiltra como água subterrânea ou que escoa na superfície.

Anexo II

Calculando a pegada hídrica do processo de desenvolvimento de uma cultura: um exemplo da produção de beterraba em Valladolid (Espanha)

Este anexo apresenta um exemplo de como estimar as pegadas hídricas verde, azul e cinza do processo de desenvolvimento de uma cultura. Ele aborda uma produção de beterrabas (*Beta vulgaris var. vulgaris*) em um campo irrigado com um hectare em Valladolid (Centro-Norte da Espanha).

As componentes azul e verde da pegada hídrica do processo

Primeiramente, as evapotranspirações das águas verde e azul foram estimadas utilizando o modelo CROPWAT 8.0 (Allen et al, 1998; FAO, 2010b). Há duas maneiras diferentes de fazer essas estimativas: considerando a opção da demanda hídrica da cultura (considerando as condições ideais) ou considerando a opção do calendário de irrigação (incluindo a possibilidade de especificar o suprimento real de irrigação no momento em que ela ocorre). Um manual abrangente para o uso prático do programa encontra-se disponível na internet (FAO, 2010b).

Em ambos os casos, os cálculos foram efetuados com base em dados climáticos obtidos junto à estação meteorológica mais próxima e representativa que está localizada na região de produção da cultura (Figura II.1). Quando possível, dados sobre a produção agrícola foram obtidos junto às estações locais de pesquisas agrícolas. Os calendários de plantio da região foram obtidos junto ao Ministério Espanhol da Agricultura, Pesca e Alimentação (MAPA, 2001) (Tabela II.1). No norte temperado da Espanha, as beterrabas são plantadas na primavera e colhidas no outono. Nas regiões mais quentes ao sul do país (Andaluzia), a beterraba é cultivada no inverno, ou seja, é plantada no outono e colhida na primavera. Os coeficientes e a duração da cultura de acordo com as características de cada região e com os tipos de clima, foram obtidos junto à Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) (Allen et al, 1998, Tabelas 11 e 12). Informações referentes à profundidade de enraizamento, ao nível crítico de depleção e ao fator de resposta de produtividade foram extraídas do banco de dados global da FAO (FAO, 2010b). Além disso, na opção do calendário de irrigação, são necessários dados referentes ao solo para estimar seu balanço hídrico. As informações sobre o solo também foram obtidas junto à FAO (2010b).

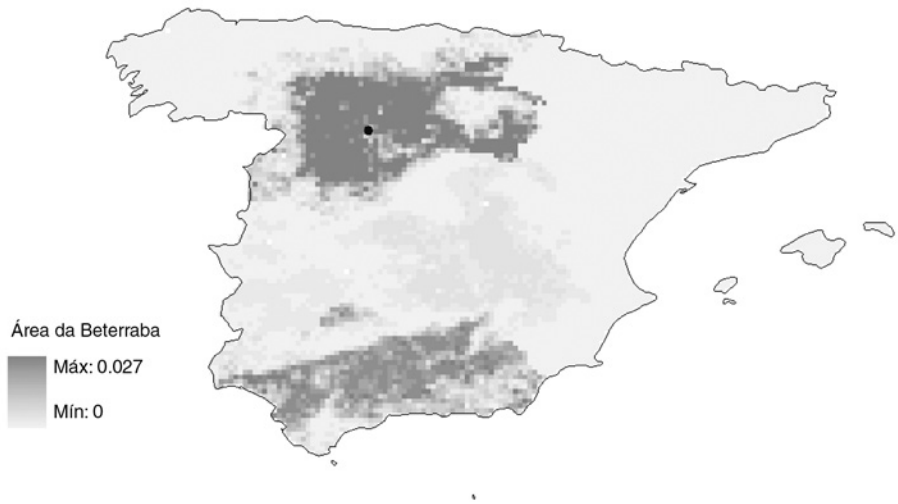


Figura II.1 *Estação climática em Valladolid (Espanha) (ponto preto) e área colhida de beterraba na Espanha (unidade: proporção da área da célula da grade)*

Fonte da área de beterraba: Monfreda et al (2008)

Tabela II.1 *Datas de plantio e colheita e produtividade de beterraba em Valladolid (Espanha)*

Cultura	Data do plantio*	Data da Colheita*	Produção (ton/ha)**
Beterraba	1 Abril (Março-Abril)	27 Set (Set-Out)	81

Fonte: *MAPA (2001)

Fonte: **MARM (2009) período 2000–2006

Tabela II.2 *Evapotranspiração total das águas verde e azul, com base na tabela de resultados DHC do CROPWAT 8.0*

Mês	***Período***	***Estágio***	K_c	ET_c	ET_c	P_{eff}	***Nec. irr.***	ET_{verde}	ET_{azul}
			-	***mm/dia***	***mm/ período***	***mm/ período***	***mm/ período***	***mm/ período***	***mm/ período***
Abr	1	Inic	0.35	1.02	10.2	12.6	0	10.2	0
Abr	2	Inic	0.35	1.13	11.3	13.8	0	11.3	0
Abr	3	Inic	0.35	1.24	12.4	14	0	12.4	0
Mai	1	Inic	0.35	1.35	13.5	14.5	0	13.5	0
Mai	2	Inic	0.35	1.45	14.5	15	0	14.5	0
Mai	3	Des	0.48	2.2	24.2	13.8	10.4	13.8	10.4

Mês	***Período***	***Estágio***	K_c	ET_c	ET_c	P_{eff}	***Nec. irr.***	ET_{verde}	ET_{azul}
			-	***mm/dia***	***mm/ período***	***mm/ período***	***mm/ período***	***mm/ período***	***mm/ período***
Jun	1	Des	0.71	3.55	35.5	12.7	22.7	12.7	22.8
Jun	2	Des	0.94	5.02	50.2	11.9	38.3	11.9	38.3
Jun	3	Méd	1.15	6.6	66	9.8	56.3	9.8	56.2
Jul	1	Méd	1.23	7.58	75.8	7.1	68.6	7.1	68.7
Jul	2	Méd	1.23	8.05	80.5	5	75.6	5	75.5
Jul	3	Méd	1.23	7.8	85.8	4.8	81	4.8	81
Ago	1	Méd	1.23	7.59	75.9	4.1	71.8	4.1	71.8
Ago	2	Fin	1.23	7.39	73.9	3.3	70.6	3.3	70.6
Ago	3	Fin	1.13	6.05	66.6	5.7	60.9	5.7	60.9
Set	1	Fin	1	4.65	46.5	8.9	37.5	8.9	37.6
Set	2	Fin	0.87	3.51	35.1	11.2	23.8	11.2	23.9
Set	3	Fin	0.76	2.6	18.2	7.8	7	7.8	10.4
Ao longo de todo o período de crescimento					796	176	625	168	628

Opção da Demanda Hídrica da Cultura

Essa opção estima a evapotranspiração sob condições ideais, o que significa que a evapotranspiração da cultura (ET_c) é igual à Demanda Hídrica da Cultura (DHC). O termo 'ideal' implica em culturas livres de doenças, bem fertilizadas, cultivadas em campos grandes, sob condições hídricas ideais de solo e que atingem a produção máxima considerando as condições climáticas existentes (Allen et al, 1998). A opção da demanda hídrica da cultura pode ser executada utilizando-se apenas os dados referentes ao clima e à cultura. A ET_c é estimada com base em intervalos de dez dias ao longo de todo o período de crescimento utilizando a precipitação efetiva. Para calcular a precipitação efetiva, o método do Serviço de Conservação do Solo do Departamento de Agricultura, dos Estados Unidos (USDA SCS) foi escolhido, por ser um dos mais utilizados. O modelo calcula a ET_c da seguinte forma:

$$ET_c = K_c \, x \, ET_o \qquad \text{[duração/tempo)} \qquad (62)$$

Aqui, K_c se refere ao coeficiente da cultura que incorpora as características da cultura e os efeitos médios da evaporação do solo. ET_o representa a evapotranspiração

de referência que expressa a evapotranspiração de uma cultura hipotética de uma gramínea de referência, que não apresenta problemas de escassez hídrica.

A evapotranspiração de água verde (ET_{verde}) é calculada como o mínimo entre a evapotranspiração total da cultura (ET_c) e a precipitação efetiva (P_{eff}), com um intervalo de dez dias. A evapotranspiração total de água verde é obtida através da soma de todas as ET_{verde} ao longo de todo o período de crescimento. A evapotranspiração de água azul (ET_{azul}) é estimada como a diferença entre a evapotranspiração total da cultura (ET_c) e a precipitação efetiva total (P_{eft}) em um período de dez dias. Quando a precipitação efetiva é maior do que a evapotranspiração total da cultura, a ET_{azul} é igual a zero. A evapotranspiração total de água azul é obtida através da adição da ET_{azul} ao longo de todo o período de crescimento (Tabela II.2).

$$ET_{verde} = \min\left(ET_c, P_{eft}\right) \qquad \text{[comprimento/tempo]} \qquad (63)$$

$$ET_{azul} = \max\left(0, ET_c - P_{eft}\right) \qquad \text{[comprimento/tempo]} \qquad (64)$$

Opção do calendário de irrigação

Na segunda opção, podemos calcular a evapotranspiração da cultura sob condições ideais e não-ideais ao longo de todo o período de crescimento adotando-se a abordagem do balanço hídrico diário do solo. A evapotranspiração calculada é chamada de ET_a, ou seja, a evapotranspiração ajustada da cultura. A ET_a pode ser menor do que a ET_c devido a condições não ideais. Os movimentos e a capacidade de armazenamento de água do solo e a habilidade das plantas para utilizar a água podem ser influenciados por diversos fatores, tais como condições físicas, biológicas e de fertilidade do solo. A ET_a é calculada utilizando um coeficiente de estresse hídrico (K_s):

$$ET_a = K_s \times ET_c = K_s \times K_c \times ET_o \qquad \text{[comprimento/tempo]} \qquad (65)$$

O K_s descreve o efeito do estresse hídrico na transpiração da cultura. Para solos em condições hídricas limitantes, $K_s < 1$; quando não há estresse hídrico no solo, $K_s = 1$.

A opção do calendário de irrigação necessita de dados referentes ao clima, à cultura e ao solo. Para estimar a evapotranspiração hídrica verde (ET_{verde}) na agricultura de sequeiro é necessário selecionar 'sem irrigação' (sequeiro) no menu 'opções' da barra de ferramentas (Tabela II.3). Nesse cenário a água verde evapotranspirada (ET_{verde}) é igual à evapotranspiração total simulada, que corresponde à opção 'uso real de água na cultura", conforme especificado no resultado do modelo. Nesse caso, obviamente, a água azul evapotranspirada (ET_{azul}) é igual a zero.

Para estimar as evapotranspirações de água azul e verde na agricultura irrigada é possível selecionar diversos horários de irrigação e opções de aplicação dependendo da estratégia de irrigação adotada. A opção padrão 'irrigar quando o índice de depleção for crítico' e 'umedecer o solo até a capacidade de campo', considera que a irrigação 'ideal' é aquela que apresenta intervalos máximos de irrigação ao mesmo tempo em que evita qualquer estresse da cultura. A lâmina média de irrigação por período está relacionada com o método de irrigação praticado. Geralmente, no caso de sistemas de irrigação de alta frequência, tais como a micro-irrigação e o pivô central, são aplicados aproximadamente 10 mm ou menos por vez. No caso da irrigação de superfície ou por aspersão, lâminas de irrigação iguais ou maiores do que 40 mm são comuns. No caso da produção da beterraba em Valladolid, 40 mm são aplicados a cada sete dias (Tabela II.4). Após executar o modelo com as opções de irrigação selecionadas o total de água evapotranspirada é igual à ET_a ao longo do período de crescimento, conforme especificado no resultado do modelo (uso real de água por cultura). Após executar o modelo com as opções de irrigação selecionadas o total de água evapotranspirada (ET_a) ao longo do período de crescimento é igual ao chamado 'uso real de água por cultura' na saída do modelo. A água azul evapotranspirada (ET_{azul}) é igual ao valor mínimo entre a 'irrigação líquida total' e as 'demandas reais de irrigação', conforme especificado no resultado do modelo. A água verde evapotranspirada (ET_{verde}) é igual ao total de água evapotranspirada (ET_a) menos a água azul evapotranspirada (ET_{azul}), conforme simulado no cenário de irrigação.

Tabela II.3 *Calendário de irrigação no cenário de sequeiro: tabela de resultados do CROPWAT 8.0*

CALENDÁRIO DE IRRIGAÇÃO DA CULTURA

Estação ETo: VALLADOLID	Cultura: Beterraba	Data do plantio: 01/04
Estação chuvosa: VALLADOLID	Solo: Médio (limoso)	Data da colheita: 27/09

Redução da produtividade: 50.1%

Opções de calendário de irrigação da cultura
Periodicidade: Sem irrigação (sequeiro)
Aplicação: -
Eficiência de campo: 70%

Formato da tabela: Balanço diário da umidade do solo

Data	Dia	Estágio	Chuva	K_s	ET_a	Depl	Irr Líq	Déficit	Perda	Irr Bruta	Vazão
			mm	-	mm	%	mm	mm	mm	mm	l/s/ha
01-Abr	1	Inic	0	1	1	1	0	1	0	0	0
02-Abr	2	Inic	0	1	1	2	0	2	0	0	0
03-Abr	3	Inic	6.7	1	1	1	0	1	0	0	0
04-Abr	4	Inic	0	1	1	2	0	2	0	0	0
05-Abr	5	Inic	0	1	1	3	0	3	0	0	0
06-Abr	6	Inic	0	1	1	4	0	4.1	0	0	0
07-Abr	7	Inic	6.7	1	1	1	0	1	0	0	0
08-Abr	8	Inic	0	1	1	2	0	2	0	0	0
09-Abr	9	Inic	0	1	1	3	0	3	0	0	0
10-Abr	10	Inic	0	1	1	4	0	4.1	0	0	0
11-Abr	11	Inic	0	1	1.1	5	0	5.2	0	0	0
12-Abr	12	Inic	0	1	1.1	6	0	6.3	0	0	0
13-Abr	13	Inic	7.4	1	1.1	1	0	1.1	0	0	0
…											
25-Set	178	Fim	0	0.21	0.5	92	0	266.5	0	0	0
26-Set	179	Fim	0	0.2	0.5	92	0	267	0	0	0
27-Set	Fim	Fim	0	0.2	0	90					

Totais:

Irrigação total bruta	0	mm	Precipitação total	190.3	mm	
Irrigação total líquida	0	mm	Precipitação efetiva	171.1	mm	
Perdas totais de irrigação	0	mm	Perda total de precipitação	19.3	mm	
Uso real de água por cultura	432.2	mm	Déficit de umidade na colheita	261.1	mm	
Uso potencial de água por cultura	793.3	mm	Demanda real de irrigação	622.3	mm	
Eficiência do calendário da irrigação	-	%	Eficiência da precipitação	89.9	%	
Deficiência do calendário da irrigação	45.5	%				

Redução de produtividade:

Etapa	A	B	C	D	Período	
Reduções na ET_c	0	0	53.3	87.7	45.5	%
Fator de resposta da produtividade	0.5	0.8	1.2	1	1.1	
Redução da produtividade	0	0	64	87.7	50.1	%
Redução cumulativa da produtividade	0	0	64	95.6		%

Tabela II.4 *Calendário de irrigação no cenário de irrigação: tabela de resultados do CROPWAT 8.0*

Calendário de irrigação da cultura

Estação ETo: VALLADOLID Cultura: Beterraba Data do plantio: 01/04
Estação chuvosa: VALLADOLID Solo: Médio (limoso) Data da colheita: 27/09

Redução da produtividade: 0.0%

Opções de calendário de irrigação da cultura
Periodicidade: Irrigar no intervalo definido pelo usuário
Aplicação: lâmina de aplicação fixada em 40 mm
Eficiência de campo: 70%

Formato Tabela: Balanço diário da água do solo

Data	Dia	Estágio	Precipitação	K_s	ET_a	Depl	IrrLíq	Déficit	Perda	Irr Bruta.	Vazão
			mm	-	mm	%	mm	mm	mm	mm	l/s/ha
01-Abr	1	Inic	0	1	1	1	0	1	0	0	0
02-Abr	2	Inic	0	1	1	2	0	2	0	0	0
03-Abr	3	Inic	6.7	1	1	1	0	1	0	0	0
04-Abr	4	Inic	0	1	1	2	0	2	0	0	0
05-Abr	5	Inic	0	1	1	3	0	3	0	0	0
06-Abr	6	Inic	0	1	1	4	0	4.1	0	0	0
07-Abr	7	Inic	6.7	1	1	1	40	0	39	57.1	6.61
08-Abr	8	Inic	0	1	1	1	0	1	0	0	0
09-Abr	9	Inic	0	1	1	2	0	2	0	0	0
10-Abr	10	Inic	0	1	1	3	0	3	0	0	0
11-Abr	11	Inic	0	1	1.1	4	0	4.2	0	0	0
12-Abr	12	Inic	0	1	1.1	5	0	5.3	0	0	0
13-Abr	13	Inic	7.4	1	1.1	1	0	1.1	0	0	0
…											
25-Set	178	Fin	0	1	2.6	6	0	16.3	0	0	0
26-Set	179	Fin	0	1	2.6	7	0	18.9	0	0	0
27-Set	Fin	Fin	0	1	0	4					

Totais:

Irrigação total bruta	1428.6 mm	Precipitação total	190.3	mm
Irrigação total líquida	1000.0 mm	Precipitação efetiva	125.1	mm
Perdas totais na irrigação	344.8 mm	Perda total de precipitação	65.2	mm

Uso real de água na cultura	793.3	mm		Déficit de umidade colheita	13.0	mm
Uso Potencial de água na cultura	793.3	mm		Necessidade real de irrigação	668.3	mm
Eficiência no calendário da irrigação	65.5	%		Eficiência da precipitação	65.7	%
Deficiência no calendário da irrigação	0.0	%				
Redução de produtividade:						
Etapa	A	B	C	D	Período	
Reduções na ET_c	0	0	0	0	0	%
Fator de resposta da produtividade	0.5	0.8	1.2	1	1.1	
Redução da produtividade	0	0	0	0	0	%
Redução cumulativa da produtividade	0	0	0	0		%

Em ambas as opções (DHC e calendário de irrigação) a evapotranspiração de cultura estimada em mm é convertida para m³/ha aplicando o fator 10. A componente verde da pegada hídrica do processo de uma cultura ($PH_{verde,proc}$, m³/ton) é calculada como a componente verde da Demanda Hídrica da Cultura (DHC_{verde}, m³/ha) dividido pela produtividade da cultura *Prtv* (ton/ha). A componente azul ($PH_{azul,proc}$ m³/ton) é calculada de maneira semelhante:

$$PH_{verde,\,proc} = \frac{DHC_{verde}}{Prtv} \qquad \text{[volume/massa]} \qquad (66)$$

$$PH_{azul,\,proc} = \frac{DHC_{azul}}{Prtv} \qquad \text{[volume/massa]} \qquad (67)$$

Os resultados de ambas as opções encontra-se na Tabela II.5. Os resultados são semelhantes à *ET* total e à pegada hídrica total resultante, porém são muito diferentes com relação à pegada hídrica azul/verde.

Tabela II.5 *Cálculo dos componentes verde e azul da pegada hídrica do processo (m³/ton) da beterraba em Valladolid (Espanha), utilizando a opção DHC e a opção do calendário de irrigação para um solo médio*

Opção CROPWAT	ET_{verde}	ET_{azul}	ET_a	DHC_{verde}	DHC_{azul}	DHC_{tot}	*Prtv**	$PH_{verde,\ proc}$	$PH_{azul,\ proc}$	PH_{proc}
	mm / período de crescimento			m³/ha			ton/ha	m³/ton		
Opção de Demanda Hídrica da Cultura	168	628	796	1.680	6.280	7.960	81	21	78	98
Opção de Calendário de Irrigação	125	668	793	1.250	6.680	7.930	81	15	82	98

Fonte: MARM (2009) período 2000-2006

Os cálculos acima se referem à evapotranspiração do campo; ainda não contabilizamos as águas azul e verde incorporadas na colheita. A fração de água para a produção de beterraba gira em torno de 75-80 por cento, o que significa que a pegada hídrica da beterraba é 0,75-0,80m³/ton, se considerarmos apenas a água incorporada. Isso equivale a menos de 1% da pegada hídrica relacionada à água evaporada.

A componente cinza da pegada hídrica do processo

A componente cinza da pegada hídrica do processo de uma cultura primária (m³/ton) é calculada com base na carga de poluentes que é lançada no sistema hídrico (kg/ano), dividida pela diferença entre o padrão de qualidade da água em seu estado natural definido para aquele poluente (a concentração máxima aceitável c_{max}) e sua concentração natural no corpo de água receptor (c_{nat}) (Tabela II.6). Assume-se que a quantidade de nitrogênio que atinge os corpos de água correntes seja equivalente a 10% da taxa de fertilizantes aplicada (em kg/ha/ano) (Hoekstra e Chapagain, 2008). O efeito da aplicação de outros nutrientes, pesticidas e herbicidas no ambiente não foi analisado. O volume total necessário de água por tonelada de nitrogênio (N) é calculado com base no volume de nitrogênio que é lixiviado ou escoado (ton/ton) e na concentração máxima permitida nos corpos de água superficiais. Como padrão de qualidade da água em seu estado natural para o nitrogênio adotamos o equivalente a 10 mg/litro (medido como N). Esse limite foi utilizado para calcular o volume de água doce necessário para assimilar a carga de poluentes. Por falta de dados adequados, a concentração natural no corpo de água receptor foi considerada igual a zero. Os dados referentes à aplicação de fertilizantes foram extraídos do banco de dados FertiStat (FAO, 2010c).

Tabela II.6 *Cálculo do componente cinza da pegada hídrica do processo (m³/ton) da beterraba em Valladolid (Espanha)*

Taxa média de aplicação de fertilizante	Área	Total de fertilizante aplicado	Lixiviação ou escoamento de nitrogênio nos corpos de água 10%	conc. máx.	$PH_{cinza,proc}$ *total da beterraba*	Produção**	$PH_{cinza,proc}$ *da beterraba* a
kg/ha	ha	ton/ano	ton/ano	mg/l	10^6 m³/ano	ton	m³/ton
178	1	0.2	0.02	10	0.002	81	22

* Fonte: FertiStat (FAO, 2010c)

** Fonte: MARM (2009) período 2000-2006

Anexo III

Exemplo de cálculo da pegada hídrica de um produto: açúcar refinado em Valladolid (Espanha)

Este anexo apresenta um exemplo de como estimar as pegadas hídricas verde, azul e cinza de um produto, enfatizando o caso da produção de açúcar refinado em Valladolid (Espanha).

Se uma cultura principal é processada para se transformar em um produto (por exemplo, o processamento da beterraba em açúcar não refinado), geralmente ocorrerá uma perda de peso, pois apenas parte do produto principal é utilizada. A pegada hídrica de produtos derivados de uma cultura é calculada através da divisão da pegada hídrica do insumo pela fração do produto. A fração do produto é definida como a quantidade de produto final obtida a partir da quantidade de insumo. As frações de produto para diversos produtos de culturas são derivadas de diferentes categorias, conforme definido em FAO (2003) e em Chapagain e Hoekstra (2004). A Figura III.1 mostra o processo produtivo do açúcar refinado. Se o processamento do insumo gera dois ou mais produtos diferentes é necessário distribuir a pegada hídrica do insumo entre cada um dos seus derivados separadamente. Isso é feito proporcionalmente ao valor dos insumos. A fração de valor para um produto processado é definida como a relação do valor do produto derivado com o valor agregado de mercado de todos os produtos obtidos a partir dos insumos. Se houver algum uso de água durante o processamento a quantidade de água utilizada no processo deve ser somada ao valor da pegada hídrica do produto de origem, antes que o total seja distribuído pelos diversos produtos processados.

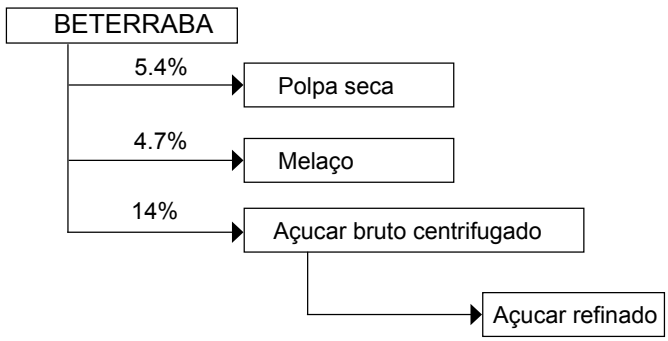


Figura III.1 *Diagrama da produção de açúcar refinado (de beterraba) na Espanha, incluindo as frações de produto*

Fonte: Elaboração própria baseada em FAO (2003)

A beterraba contém açúcar naturalmente. Em uma fábrica, este açúcar é extraído da beterraba e transformado em açúcar granulado. A colheita da beterraba começa em meados de setembro. A maior parte da beterraba colhida é transportada por caminhões. Primeiramente, a beterraba entregue é lavada em grandes tanques de água. A água utilizada é limpa na usina de purificação de água para ser reutilizada. O solo removido é primeiramente armazenado nos campos de armazenamento e, em seguida, é utilizado para erguer diques, por exemplo. A beterraba limpa é, então, fatiada em máquinas de corte. O açúcar contido nessas fatias de beterraba é extraído em torres de difusão com água morna. O que resulta é um suco bruto com uma concentração de açúcar equivalente a 14% (FAO, 2003). Essa é quase a mesma quantidade contida na própria beterraba. As fatias extraídas da beterraba, chamadas de polpa, são prensadas ou secas e comercializadas como ração para animais. O passo seguinte do processo produtivo é a purificação do suco bruto. O suco bruto é purificado e transformado em um suco refinado com cal e dióxido de carbono (CO_2). A cal e o CO_2 são produzidos nas usinas de produção em um forno feito de pedra calcária e coques. A cal absorve todas as substâncias indesejadas que se sedimentam devido à adição de CO_2. Esse material sólido é filtrado e se torna um poderoso fertilizante natural que melhora a estrutura do solo e é comercializado com o nome de Betacal SU. Conforme a água evapora, o suco refinado vai se tornando gradualmente um suco espesso com um percentual de açúcar de aproximadamente 70%. Por fim, uma grande quantidade de água evapora nos "concentradores a vácuo" até obter uma solução saturada. Em seguida inicia-se o processo de cristalização com a adição de cristais de açúcar refinado que servem como gérmen. Com a contínua evaporação da água esses cristais de açúcar atingem gradualmente o tamanho necessário. Os cristais de açúcar são separados do líquido (calda) nas centrífugas e, após a secagem, o açúcar é armazenado em grandes silos. A calda é chamada de melaço e serve de matéria-prima para a produção de álcool.

Os produtos derivados da indústria açucareira são mostrados no diagrama de produção da Figura III.1. A polpa da beterraba é seca e comercializada pela indústria de ração de animais, destinada aos produtores de leite e derivados. A polpa também é vendida para criadores de suínos onde há um benefício ambiental, já que o conteúdo de matéria seca do estrume produzido pelos suínos é maior e o nível de amônia nas pocilgas é menor. Experimentos também estão sendo realizados no sentido de engordar os porcos com a polpa da beterraba e vêm apresentando resultados promissores. O melaço gerado pela indústria açucareira é comercializado para a indústria de álcool e o sub-produto dessa indústria de álcool (vinhaça) é utilizado na indústria de ração para gado leiteiro, sendo que uma pequena parte agora é utilizada pelos agricultores como um fertilizante rico em potássio.

Durante o processo descrito acima, o uso da água é limitado tanto quanto possível. As fábricas de açúcar utilizam especialmente a água das beterrabas. Ela é liberada no processo de produção na forma de condensação de água evaporada. As beterrabas são compostas por mais de 75% de água. Assim, durante a produção do açúcar, é gerado um excedente de água oriundo das beterrabas. Após a purificação essa água é drenada para a água superficial. Durante o processo de lavagem das beterrabas, materiais orgânicos são

liberados na água e purificados. Além da purificação aeróbica, a purificação anaeróbica também é realizada nos biodigestores onde é produzido o biogás.

A pegada hídrica do açúcar refinado foi estimada separadamente para as componentes verde, azul e cinza. Isso foi realizado em duas etapas: primeiro para o açúcar de beterraba não refinado e centrifugado e depois para o açúcar refinado.

Inicialmente, a pegada hídrica azul do açúcar de beterraba não refinado e centrifugado é estimada da seguinte maneira:

$$PH_{prod}\,[p] = (PH_{proc}\,[p] + \Sigma_{i=1}^{y} \frac{PH_{prod}{}^{[i]}}{f_p[p,i]} f_v[p] \qquad \text{[volume/massa]} \qquad (68)$$

Conforme descrito acima, a pegada hídrica do processo (PHproc[p]) é igual a zero. A pegada hídrica azul do insumo da beterraba (PHprod[i]) produzida em Valladolid equivale a cerca de 82 m³/ton (Anexo II). A fração do produto (fp[p,i]), de acordo com o diagrama da produção de açúcar, é de 0,14 ton/ton. E a fração do valor (fv[p]) corresponde a cerca de US$0,89/US$, calculada da seguinte forma:

$$f_v[p] = \frac{preço\,[p]\;x\;peso\,[p]}{\sum_{p=1}^{z}\,(preço\,[p]\;x\;peso\,[p])} \qquad [–] \qquad (69)$$

$$f_v\,[p] = \frac{preço_{\;açúcar.não\,-\,refin,centr} \times peso_{\,açúcar.não\,-\,refin,centr}}{preço_{polpasecabet} \times peso_{polpasecabet} + preço_{melaço} \times peso_{melaço} + preço_{polpasecabet} \times peso_{polpasecabet}}$$

$$[–] \qquad (70)$$

Ao final, a pegada hídrica azul do açúcar de beterraba não refinado centrifugado chega até a 524 m³/ton.

Depois é calculada a pegada hídrica azul do açúcar refinado. Aqui, novamente, a pegada hídrica do processo ($PH_{proc}[p]$) é igual a zero. A pegada hídrica azul do insumo de beterraba bruto centrifugado ($PH_{prod}[i]$) é de 524 m³/ton. A fração do produto ($f_p[p,i]$), de acordo com o diagrama da produção de açúcar, é de 0,92 ton/ton; e a fração do valor ($f_v[p]$) é de US$1/US$, já que existe apenas um produto final. Por fim, a pegada hídrica azul do açúcar refinado produzido em Valladolid é de 570 m³/ton. As pegadas hídricas verde e cinza são calculadas de maneira semelhante (Tabela III.1).

Tabela III.1 *Pegadas hídricas verde, azul e cinza da beterraba em Valladolid (Espanha) (m³/ton)*

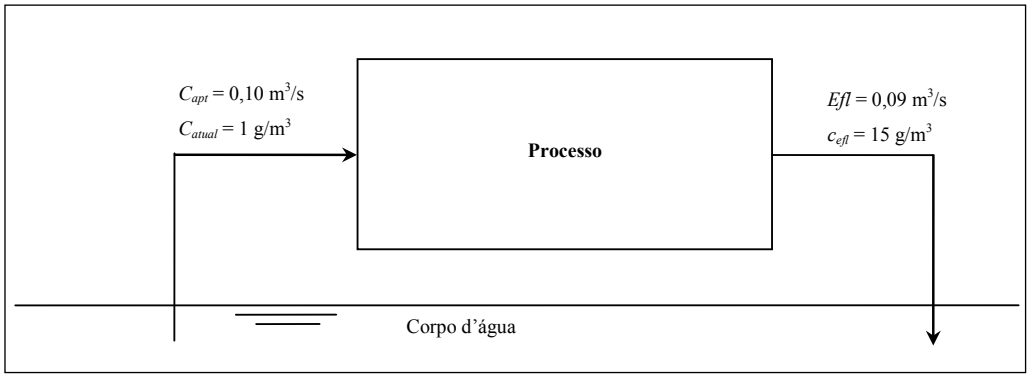
Pegada hídrica do processo da cultura de beterraba (m³/ton)				***Pegada hídrica do produto do açúcar refinado (m³/ton)***			
$PH_{proc,verde}$	$PH_{proc,azul}$	$PH_{proc,cinza}$	PH_{total}	$PH_{proc,verde}$	$PH_{proc,azul}$	$PH_{proc,cinza}$	PH_{total}
15	82	22	120	107	570	152	829

Anexo IV

Exemplos de cálculos da pegada hídrica cinza

Exemplo 1: Pegada hídrica cinza de fonte pontual de poluição

Considere um processo que usa água, como o mostrado abaixo. A captação é 0,10 m^3/s; o lançamento de efluente é de 0,09 m^3/s, um pouco menor do que a captação porque parte da água que foi captada evapora durante o processo, de modo que não é devolvida ao corpo d'água. A concentração natural de certo produto químico no corpo de água doce (c_{nat}) é 0,5 g/m^3, mas a concentração atual (c_{atual}) no ponto da extração já é 1,0 g/m^3, devido a atividades poluidoras a montante. A concentração do produto químico no efluente (c_{efl}) é 15 g/m^3. A concentração máxima aceitável no corpo d'água ($c_{máx}$) é 10 g/m^3. A carga (adicional) desse processo para o corpo d'água é igual a: 0,09 × 15 – 0,1 × 1 = 1,25 g/s. A pegada hídrica cinza associada é: 1,25 / (10 – 0,5) = 0,13 m^3/s.



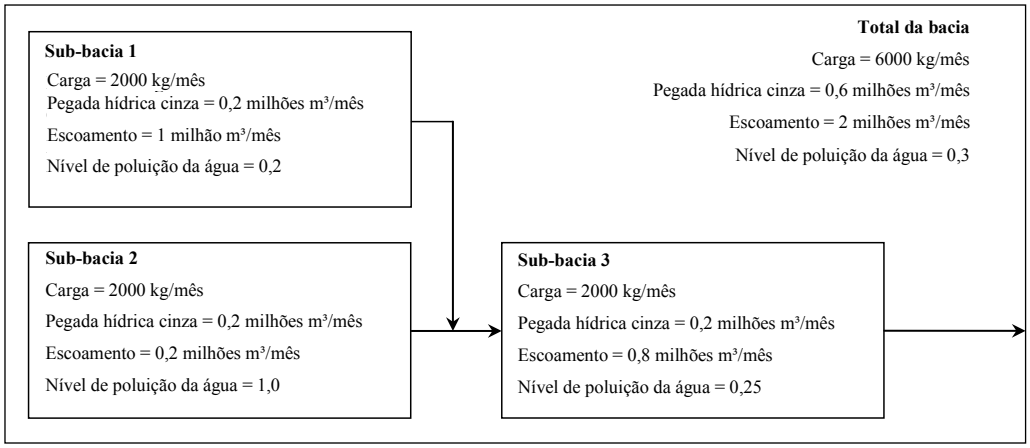
Neste exemplo, a concentração no efluente é maior do que a concentração máxima aceitável no corpo de água doce. Um usuário astuto que, no entanto, não compreenda realmente os impactos ambientais, decide captar mais água a fim de diluir o efluente de forma que a concentração no efluente se torne igual à concentração máxima aceitável. O volume da captação é aumentado de 0,10 para 0,15 m^3/s. O volume do efluente se torna 0,14 m^3/s, pois a evaporação perdida no processo permanece a mesma. A concentração do produto químico no efluente é agora diluída ao nível de 10 g/m^3. A carga (adicional) para o corpo de água doce permanece a mesma: 0,14 × 10 – 0,15 × 1 = 1,25 g/s. A pegada hídrica cinza associada também permanece a mesma: 1,25 / (10 – 0,5) = 0,13 m^3/s. Parece

que o usuário obteve sucesso – pois a concentração no efluente foi reduzida para um 'nível aceitável' – mas para o corpo d'água receptor isso não faz diferença – pois a carga de poluentes e a pegada hídrica cinza permanecem as mesmas.

Finalmente, decide-se evitar a captação de água adicional e assim ela será novamente de 0,10 m^3/s. Como alternativa, trata-se o efluente antes de ele ser descartado no ambiente. Durante o tratamento, uma fração grande de químicos é removida do efluente. O tratamento é delineado para que não haja perda por evaporação durante o processo, assim o volume do efluente permanece igual a 0,09 m^3/s. No entanto, a concentração do químico no efluente (c_{Eff}) é reduzida de 15 g/m^3 para 2 g/m^3. A carga (adicional) do processo para o corpo de água doce agora é igual a $0,09 \times 2 - 0,1 \times 1 = 0,08$ g/s. A pegada hídrica cinza associada é $0,08 / (10 - 0,5) = 0,0084$ m^3/s. Embora a concentração de produtos químicos no efluente esteja abaixo da concentração máxima permitida no corpo de água doce, pode-se ver que a pegada hídrica cinza não é zero. A razão é que a concentração no efluente ainda está além da concentração natural no corpo d'água, assim o processo consome uma parte capacidade de assimilação deste corpo d'água.

Exemplo 2: Calculando o nível de poluição da água em diferentes escalas

Considere uma bacia que possa ser subdividida em três sub-bacias, como esquematizado na figura abaixo. Existem duas sub-bacias a montante que drenam numa terceira situada a jusante. Em cada sub-bacia há uma carga total de 2.000 kg de certo produto químico em um determinado mês. Com uma concentração natural de zero e uma concentração máxima aceitável de 0,01 kg/m^3 para esse composto químico, a pegada hídrica cinza em cada sub-bacia pode ser calculada como $2000 / (0,01 - 0) = 0,2$ milhões de m^3 no referido mês. Neste mês, o escoamento da sub-bacia 1 atinge 1,0 milhão de m^3, o da sub-bacia 2 é 0,2 milhões de m^3 e o da sub-bacia 3 é de 0,8 milhões de m^3. Supondo que o tempo de residência da água na bacia é baixo, o escoamento total da bacia no mês considerado é igual à soma dos volumes de escoamento das três sub-bacias, isto é, 2 milhões de m^3. Pode-se calcular um 'nível de poluição da água' por sub-bacia para o mês considerado, através da proporção da pegada hídrica cinza em relação ao escoamento. Os resultados são mostrados na figura abaixo. Na sub-bacia 2 o nível de poluição da água é 1,0, o que significa que a capacidade de assimilação nessa sub-bacia foi completamente consumida. Não é o caso nas outras duas sub-bacias. Quando olhamos para a bacia como um todo chega-se a um nível de poluição da água de 0,3. Isso ressalta o fato de que quando a poluição é distribuída desigualmente dentro de uma bacia, os pontos críticos (*hotspots*) se tornam visíveis somente quando o nível de resolução da análise é suficientemente alto.


Sub-bacia 1
Carga = 2000 kg/mês
Pegada hídrica cinza = 0,2 milhões m³/mês
Escoamento = 1 milhão m³/mês
Nível de poluição da água = 0,2
Total da bacia
Carga = 6000 kg/mês
Pegada hídrica cinza = 0,6 milhões m³/mês
Escoamento = 2 milhões m³/mês
Nível de poluição da água = 0,3
Sub-bacia 2
Carga = 2000 kg/mês
Pegada hídrica cinza = 0,2 milhões m³/mês
Escoamento = 0,2 milhões m³/mês
Nível de poluição da água = 1,0
Sub-bacia 3
Carga = 2000 kg/mês
Pegada hídrica cinza = 0,2 milhões m³/mês
Escoamento = 0,8 milhões m³/mês
Nível de poluição da água = 0,25

Este exemplo pode ser utilizado também para explicar por que as pegadas hídricas cinzas são medidas baseadas nas cargas (induzidas pelo homem) que entram em corpos de água doce e não com base nas cargas medidas no exutório da bacia. Suponha que a carga adicionada na sub-bacia 1, no percurso entre as sub-bacias 1 e 3, é parcialmente reduzida sob a influência de processos bioquímicos no rio de forma que somente 80% da carga original finalmente deixam a sub-bacia 3. Suponha que o mesmo vale pra a carga que foi lançada na água na sub-bacia 2. Por último, suponha que 90% da carga trazida para a sub-bacia 3 finalmente deixa aquela sub-bacia. Assim podemos calcular que a carga química no rio no ponto mais a jusante é de 5.000 kg. Isto é menos que os 6.000 kg que foram adicionados originalmente às águas ao longo da bacia. Calcular a pegada hídrica cinza ou o nível de poluição da água com base nas cargas a jusante, ao invés das cargas conforme elas entram no sistema, dá uma falsa impressão da situação. Isto se torna mais claro se alterarmos um pouco o exemplo acima. Suponha agora que as cargas nas sub-bacias 1-3 aumentam para 10.000, 2.000 e 8.000 kg/mês, respectivamente. Isso significa que calculamos um nível de poluição da água de 1,0 para cada sub-bacia. Se esse for o caso para cada sub-bacia, então este, também, deve ser o caso para a bacia como um todo. Quando, no entanto, observarmos a carga química na saída da sub-bacia 3, encontraremos uma carga de 0,8×(10.000+2.000) + 0,9×8.000 = 16.800 kg/mês. Se avaliarmos o nível de poluição da água na bacia como um todo com base na carga medida no exutório, o cálculo levará a um engano: nível total de poluição de 0,84.

Anexo V

Demandas de vazão ambiental

No arcabouço das discussões de pegada hídrica é crucial ter padrões de demandas de vazão ambiental. De acordo com a Declaração de Brisbane, elaborada no 10º Simpósio Internacional de Rios e na Conferência de Vazões Ambientais, realizado em Brisbane, Austrália, em 2007, as demandas de vazão ambiental são definidas como sendo a 'quantidade, qualidade e temporalidade das vazões necessárias para manter a saúde dos ecossistemas aquáticos e estuarinos, bem como o modo de vida e o bem estar das pessoas que dependem destes ecossistemas' (Poff et al., 2010).

Quando estamos interessados nos impactos ambientais da pegada hídrica azul (uso consuntivo da água de escoamento), é crucial conhecer as demandas de vazão ambiental (DVA) na bacia onde a pegada hídrica azul está localizada. Focaremos neste contexto na quantidade e na temporalidade das vazões necessárias para os ecossistemas. A diferença entre a vazão natural de uma bacia (Q_{nat}) e as demandas de vazão ambiental (DVA) é o que permanece disponível para uso humano. A disponibilidade de água azul (DA_{azul}) é definida como:

$$DA_{azul} = Q_{nat} - DVA \qquad \text{[volume/tempo]} \qquad (71)$$

A pegada hídrica azul (PH_{azul}) em uma bacia precisa ser comparada com a disponibilidade de água azul DA_{azul}. Quando PH_{azul} se aproxima ou excede DA_{azul}, há motivo para preocupação. A vazão natural pode ser estimada como a vazão atual mais a pegada hídrica azul. As vazões de muitas bacias no mundo são conhecidas e se não houver dados empíricos disponíveis é possível utilizar modelos para fazer as estimativas. A resolução temporal é, às vezes, diária, mas pelo menos conhecemos de forma geral a vazão em uma base mensal. Os dados da pegada hídrica têm sido apresentados em uma base anual, mas por trás dessas estimativas sempre há informações sobre seu comportamento ao longo do tempo, pois os cálculos da pegada hídrica são baseados na água utilizada para irrigação, com uma escala temporal de 1 a 10 dias. A comparação entre PH_{azul} e a DA_{azul} pode ser feita em bases anuais, mas esta é uma forma bastante simplificada e grosseira de calcular o que realmente acontece ao longo do ano, então, é melhor fazer essa comparação, por exemplo, em uma base mensal. Existem dados suficientes na literatura para concluir que a definição de vazões ambientais em uma determinada bacia será sempre um trabalho complexo. É tentador ter-se um padrão simples, genérico,

facilmente aplicável para estimar as demandas de vazões ambientais, de forma que se possa avaliar com facilidade o impacto ambiental de uma pegada hídrica azul em uma determinada bacia no mundo. A extensa literatura sobre as demandas de vazão ambiental fornece muitos métodos, diretrizes e exemplos úteis, mas há um único estudo em todo o mundo sobre as demandas de vazão ambiental baseado em uma regra simples e em dados prontamente disponíveis: o estudo realizado por Smakhtin et al. (2004). O lado bom deste estudo é que ele oferece o que muitos profissionais desejam (método fácil, números claros, cobertura mundial); o mapa de Smakhtin é frequentemente exibido em apresentações e relatórios de negócios. A desvantagem é que o método fornece valores anuais ao invés de valores mensais para as demandas de vazões ambientais e muitos dos especialistas não concordam com as regras de cálculo, com os parâmetros utilizados e com as estimativas resultantes. De acordo com Arthington et al., 2006, o método Smakhtin subestima enormemente as demandas de vazão ambiental.

Para propósitos práticos, propõe-se aqui trabalhar com um método simples (baseado em dados disponíveis) e genérico (aplicável em todo o mundo) para estabelecer as demandas de vazão ambiental de bacias hidrográficas com baixa resolução temporal, porém alta o suficiente para capturar as principais variações dentro de um ano. As estimativas obtidas com esse método podem funcionar como demandas padrão de vazões ambientais em casos onde estimativas mais detalhadas ainda não estão disponíveis. Deve-se salientar que o método genérico simples deve fornecer valores preliminares para serem substituídos por estimativas melhores, quando possível. Para esse propósito, pode-se contar, por exemplo, com o método ELOHA para o estabelecimento de demandas da vazão ambiental, que é um método avançado, proposto por alguns dos maiores especialistas do mundo nesse campo (Poff et al., 2010). Este método requer recursos financeiros e trabalho intensivo e pelo menos alguns anos até termos uma estimativa das demandas de vazões ambientais baseada nessa abordagem.

Por enquanto, as seguintes regras simples para estabelecimento das demandas de vazão ambiental são propostas:

1. Para cada mês do ano, a vazão média mensal em condições modificadas está em uma faixa de ±20% da vazão média mensal como ocorreria em condições originais; e
2. Para cada mês do ano, a vazão de base mensal está em uma faixa de ±20% da vazão de base mensal média, como ocorreria nas condições originais.

Buscando maior detalhamento, propomos distinguir os 'níveis de alteração da bacia hidrográfica'. No que se refere à variação (Δ) da vazão média mensal em condições modificadas em relação às condições originais, o seguinte esquema pode ser utilizado:

$\Delta < \pm 20\%$	não modificada ou pouco modificada	status A
$\pm 20\% < \Delta < \pm 30\%$	moderadamente modificada	status B
$\pm 30\% < \Delta < \pm 40\%$	significativamente modificada	status C
$\Delta > \pm 40\%$	fortemente modificada	status D

Nos dias de hoje, quantas bacias se classificarão nas quatro categorias de A a D? A maioria dos rios não regularizados por barragens cairá na categoria A. Os rios regularizados por barragens serão classificados entre as categorias B-D. A regra dos 20% é considerada como um 'padrão de precaução para demandas de Vazões Ambientais'. Os limites acima podem ser chamados de 'limiares potenciais de preocupação'. Essa terminologia reflete melhor o fato que estes limites são mais indicativos do que decisivos.

A escala espacial apropriada para estabelecer a *DVA* é a microbacia. A *DVA* em nível de bacia hidrográfica pode ser calculada como a soma dos valores de *DVA* das sub-bacias que constituem a bacia hidrográfica. Dado que a *DVA* pode ser mais bem expressa em nível de microbacia, a pegada hídrica é idealmente especificada nesta mesma escala. A contabilização da pegada hídrica deve ser idealmente feita de modo espacialmente explícito, utilizando um sistema de informação geográfica (SIG), de forma que neste caso possamos sempre localizar a pegada hídrica com precisão.

O impacto local de uma pegada hídrica em um rio pode ser quantificado pela contagem (média) do número de meses em um ano em que as demandas de vazão ambiental no rio não foram respeitadas e pela consideração do grau no qual estas demandas foram violadas. Isto não significa que a pegada hídrica azul da atividade humana considerada é totalmente responsável pela violação das demandas de vazão ambiental, pois a contagem é a soma das pegadas hídricas azuis de todas as atividades que resultam na violação. Consequentemente, pode-se considerar também a contribuição relativa da atividade considerada.

O método simplificado acima é baseado nas ideias iniciais de alguns especialistas em recursos hídricos (comunicação pessoal entre Jay O'Keeffe, UNESCO-IHE; Brian Richter, TNC; Stuart Orr, WWF; Arjen Hoekstra, Universidade de Twente). Precisamos de ampla concordância e apoio da comunidade de especialistas em DVA neste método simples e genérico, pois sem dúvida o método será criticado, o que é compreensível devido tanto a interesses diversos (meio ambiente versus usuários de água) quanto à dificuldade científica de traduzir a complexidade real através de regras simples. No entanto, possíveis críticas não têm impedido os especialistas de estabelecerem padrões simples de toxicidade e qualidade da água, então por que isso nos impediria de estabelecer padrões de *DVA*? A quantificação das demandas de vazão ambiental é essencial para permitir a contabilização na avaliação dos impactos do consumo de água azul.

Anexo VI

Perguntas Frequentes

Questões práticas

1. Por que devemos nos importar com a nossa pegada hídrica?

A água doce é um recurso escasso; sua disponibilidade anual é limitada e a demanda está crescendo. A pegada hídrica da humanidade excedeu os níveis de sustentabilidade em diversos lugares e é distribuída desigualmente entre as pessoas. Uma boa base de informações sobre as pegadas hídricas das comunidades e das empresas nos ajudará a entender como podemos fazer um uso mais sustentável e equitativo da água. Em muitos lugares no mundo ocorrem sérios problemas de escassez ou poluição de água: rios que estão secando, níveis de lagos e água subterrânea que estão sendo rebaixados e espécies que estão ameaçadas em decorrência da contaminação da água. A pegada hídrica ajuda a mostrar a conexão que existe entre o nosso consumo diário de produtos e os problemas de escassez e poluição da água que ocorrem em outros lugares, ou seja, nas regiões onde esses produtos são produzidos. Quase todo produto apresenta uma pegada hídrica menor ou maior, o que é do interesse dos consumidores que compram esses produtos, bem como das empresas que os produzem, processam, comercializam ou vendem em algum estágio de sua cadeia de suprimento.

2. Por que minha empresa deveria se preocupar com a pegada hídrica dela?

Em primeiro lugar, a conscientização e a estratégia ambiental geralmente fazem parte do que as empresas chamam de 'responsabilidade social corporativa'. A redução da pegada hídrica pode fazer parte da estratégia ambiental de uma empresa, assim como a redução da pegada de carbono. Em segundo lugar, muitas empresas enfrentam sérios riscos relacionados à escassez de água em suas operações ou em sua cadeia de suprimento. O que seria de uma cervejaria sem um fornecimento seguro de água ou como uma empresa que fabrica jeans poderia sobreviver sem o fornecimento contínuo de água nas plantações de algodão? Uma terceira razão para efetuar o cálculo da pegada hídrica e formular medidas para reduzir a pegada hídrica corporativa é antecipar o controle regulatório por parte dos governos. No estágio atual não está muito claro como os governos agirão, mas obviamente surgirão regulações em alguns setores de negócios. Por fim, algumas empresas também consideram a estratégia corporativa da pegada hídrica como um instrumento para reforçar a sua imagem corporativa ou fortalecer a sua marca.

3. O que os consumidores podem fazer para reduzir suas pegadas hídricas?

Os consumidores podem reduzir suas pegadas hídricas diretas (uso doméstico de água) instalando válvulas de descarga e chuveiros que economizam água, fechando a torneira enquanto escovam os dentes, usando menos água no jardim e não descartando medicamentos, tintas ou outros poluentes na pia, no tanque ou no ralo. Geralmente, a pegada hídrica indireta de um consumidor é muito maior do que a sua pegada hídrica direta. Um consumidor tem basicamente duas opções para reduzir a sua pegada hídrica indireta. Uma opção é substituir um produto que tenha uma pegada hídrica grande por outro tipo de produto que tenha uma pegada hídrica menor. Por exemplo, comer menos carne ou se tornar vegetariano, tomar chá ao invés de café ou, melhor ainda, beber somente água. Substituir as roupas feitas de algodão por roupas confeccionadas com fibras artificiais ajudaria a economizar bastante água. Mas essa abordagem tem limitações, pois muitas pessoas não deixam de consumir carne e/ou se tornam vegetarianas facilmente e muitas pessoas não querem abrir mão de seu cafezinho ou da roupa feita de algodão. A segunda opção é manter o mesmo padrão de consumo, mas optar por café, carne ou roupas feitas de algodão que tenham uma pegada hídrica relativamente baixa ou cuja pegada hídrica esteja localizada em uma área que não sofra tanto com a escassez de água. Isso exige, no entanto, que os consumidores tenham acesso às informações necessárias para que possam fazer as suas escolhas. Como geralmente essas informações não estão disponíveis, algo importante que os consumidores podem fazer é exigir transparência sobre os produtos aos seus fabricantes e que o governo defina regulamentações a respeito. Quando há informações disponíveis sobre os impactos de um determinado artigo sobre o sistema hídrico, os consumidores podem fazer escolhas conscientes na hora de comprar os produtos.

4. O que as empresas podem fazer para reduzir suas pegadas hídricas?

As empresas podem reduzir sua pegada hídrica *operacional* economizando água em suas próprias operações e reduzindo a poluição da água a zero. As palavras-chave são: evitar, reduzir, reciclar e tratar antes de descartar. Para muitas empresas, no entanto, a pegada hídrica da sua cadeia de suprimento é muito maior do que a sua pegada hídrica operacional. Portanto, é fundamental que as empresas também abordem essa questão. Promover melhorias na cadeia produtiva pode ser mais difícil – pois não há controle direto – mas pode ser mais eficaz. As empresas podem reduzir a pegada hídrica de sua cadeia produtiva estabelecendo acordos com seus fornecedores que incluam determinados padrões ou, simplesmente, trocando de fornecedor. Em muitos casos, este pode ser um processo bastante trabalhoso, pois todo o modelo de negócios pode precisar ser modificado para incorporar ou controlar melhor as cadeias produtivas e torná-las completamente transparentes para os consumidores. Entre as várias alternativas ou ferramentas complementares que podem ajudar a melhorar a transparência estão: a definição de metas quantitativas de redução da pegada hídrica, o processo contínuo de comparação das pegadas hídricas, a elaboração de rótulos com as informações pertinentes, certificação e relatório de pegada hídrica.

5. Por que os governos deveriam fazer o cálculo da pegada hídrica nacional?

Tradicionalmente, os países formulam planos nacionais de recursos hídricos buscando satisfazer os usuários de água. Apesar dos países considerarem, hoje em dia, opções para reduzir a demanda de recursos hídricos, além de opções para aumentar o fornecimento de água, geralmente eles não incluem a dimensão global da gestão hídrica. Dessa forma, eles não consideram explicitamente as opções para economizar água através da importação de produtos de uso intensivo de água. Além disso, ao observar somente o uso da água em seu próprio país, a questão da sustentabilidade do consumo nacional cria uma lacuna para a maioria dos governos. Na realidade, muitos países externalizaram sua pegada hídrica de modo significativo, sem verificar se os produtos importados contribuem para o esgotamento e a poluição da água nos países produtores. Os governos podem e deveriam se unir aos consumidores e às empresas com o objetivo de buscar produtos sustentáveis. A contabilização da pegada hídrica nacional deve ser um componente padrão das estatísticas nacionais de água e servir de base para formular um plano nacional de recursos hídricos, bem como planos para as bacias hidrográficas, sendo coerentes com as políticas nacionais ambientais, industriais, energéticas, comerciais, de cooperação e de relações internacionais, por exemplo.

6. Quando posso considerar que a minha pegada hídrica é sustentável?

A pegada hídrica de um consumidor é sustentável quando (i) o total permanece abaixo da cota justa dos consumidores de todo o mundo; (ii) nenhum componente da pegada hídrica total está localizado em um ponto crítico; e (iii) nenhum componente da pegada hídrica total pode ser reduzido ou evitado como um todo a um custo social razoável.

7. Como posso compensar a minha pegada hídrica?

Essa pergunta geralmente é feita por pessoas que estão familiarizadas com a ideia da compensação de carbono. No caso do carbono não importa onde as medidas de mitigação ocorrem, ou seja, é possível compensar a sua própria emissão de CO_2 ajudando a reduzir as emissões de CO_2 ou aumentando o sequestro de carbono em outros lugares. No caso da água é diferente, pois a escassez e a poluição da água de um lugar não podem ser compensadas através de medidas tomadas em outro lugar. Portanto, o foco deve ser na redução da sua própria pegada hídrica priorizando os locais e os períodos em que essa pegada hídrica causa problemas. Devemos fazer tudo o que for 'razoavelmente possível' para reduzir a nossa própria pegada hídrica, tanto a direta como a indireta. Isso vale tanto para os consumidores como para as empresas. Somente depois que todas as medidas forem tomadas para reduzir a pegada hídrica devemos pensar em uma forma de compensação. Isso significa que a pegada hídrica residual é compensada quando se faz um 'investimento razoável' na criação ou no apoio a projetos que visam o uso sustentável, quantitativo e eficiente da água na bacia onde a pegada hídrica residual está localizada. Os termos 'razoavelmente possível' e 'investimento razoável' incluem elementos normativos que precisam de maior especificação e sobre os quais um consenso social deve ser atingido.

8. Eu já pago pela água que consumo, isso não é suficiente?

Geralmente, o preço pago pela água azul está muito abaixo do seu custo econômico real. A maioria dos governos subsidia o fornecimento da água azul em grande escala investindo em infraestrutura como barragens, canais, sistemas de distribuição e tratamento de efluentes. Geralmente, esses custos não são repassados aos usuários de água. Consequentemente, há um incentivo econômico insuficiente para que os usuários economizem água. Além disso, devido ao caráter público da água, geralmente os custos adicionais relacionados à sua escassez não são transferidos para os preços dos bens e serviços que são produzidos com ela, como acontece naturalmente no caso de bens privados. Por fim, os usuários da água geralmente não pagam pelos impactos negativos causados por eles às pessoas ou aos ecossistemas localizados a jusante.

9. Por que devemos reduzir as pegadas hídricas verdes?

Alguém pode argumentar que a chuva é de graça; se o homem não utilizar a água verde para produzir alimentos, fibras, madeira ou bioenergia ela vai evaporar de qualquer maneira. Há, no entanto, duas boas razões para reduzirmos a pegada hídrica verde. A primeira é que a chuva é de graça, mas não é ilimitada. Na verdade, a água verde é um recurso escasso, assim como a água azul, principalmente em alguns locais e durante determinados períodos do ano. Uma vez que parte da área de qualquer bacia hidrográfica deve ser reservada para a natureza, automaticamente uma determinada quantidade de água verde passa a ficar indisponível para a agricultura. No caso de bacias onde a água verde é escassa, aumentar a produtividade da água verde (em outras palavras, reduzir a pegada hídrica verde de um produto) é fundamental para otimizar a produção, já que há restrição de água verde. A segunda razão é que o aumento da produção baseada nos recursos de água verde reduz a necessidade de recursos de água azul para esta produção. Por isto é recomendável reduzir a pegada hídrica verde mesmo nas áreas onde a água verde é abundantemente disponível. Promover o melhor uso da água de chuva nas áreas onde a precipitação é suficiente possibilita aumentar a produção mundial de produtos que utilizam a água da chuva, o que reduz a necessidade de produção agrícola irrigada em áreas com escassez hídrica.

10. Por que devemos reduzir as pegadas hídricas azuis em áreas que têm escoamento suficiente?

À primeira vista parece que é necessário reduzir as pegadas hídricas azuis somente nas bacias onde a disponibilidade de água azul é insuficiente. No entanto, focar apenas em áreas onde há escassez de água é inadequado. O uso ineficiente da água em locais onde há abundância desse recurso demonstra que é possível aumentar a produção por unidade de água, o que é importante, pois aumentar a produção de bens de uso intensivo de água em lugares onde há abundância do recurso significa que é possível diminuir a produção desses bens em lugares com escassez de água. Diminuir a pegada hídrica por unidade de produto em áreas com abundância de água contribui para a redução da pegada hídrica global nas áreas com escassez de água. Outra razão para diminuir as pegadas hídricas azuis nas áreas

com abundância de água é que a alocação da água azul para um determinado propósito anula a possibilidade de alocá-la para outro fim. As pegadas hídricas dos produtos que fazem uso intensivo de água e dos artigos "não essenciais", tais como carne, bioenergia ou flores podem gerar estresse nas bacias onde a disponibilidade da água é abundante e onde as demandas de vazão ambiental são atendidas, mas as implicações globais dessas pegadas hídricas são que uma quantidade menor de água pode ser alocada para outros propósitos, tais como o cultivo de cereais para atender a demanda por alimentos básicos. Portanto, reduzir a pegada hídrica azul de um produto específico em uma área abundante em água cria a possibilidade de produzir uma quantidade maior desse produto ou de alocar a água que foi economizada para outro produto.

11. O que são metas razoáveis para a redução da pegada hídrica?

Não existe uma resposta genérica para essa pergunta, pois isso vai depender de cada produto, da tecnologia disponível, do contexto local e assim por diante. Além disso, é importante ter em mente que essa questão envolve um elemento normativo, o que significa que ela deve ser respondida com base em um contexto sociopolítico. No entanto, podemos indicar algumas orientações gerais. Em primeiro lugar, é necessário distinguir as metas com relação à redução das pegadas hídricas verde, azul e cinza. No caso da pegada hídrica cinza, que se refere à poluição da água, é possível exigir que seja reduzida a zero para todos os produtos, pelo menos no longo prazo. A poluição não é necessária. É possível tornar uma pegada hídrica cinza equivalente a zero através da prevenção, da reciclagem e do tratamento. Somente a poluição térmica (decorrente do uso de água para refrigeração) dificilmente será reduzida a zero, mas mesmo esse tipo de poluição pode ser evitado (em grande parte) através da recaptura do calor. A pegada hídrica azul no estágio agrícola dos produtos pode ser substancialmente reduzida com a diminuição das perdas do uso consuntivo da água com o aumento da produtividade da água azul e investindo mais na agricultura de sequeiro. No estágio industrial, vai depender muito do setor e das medidas que já foram tomadas. Do ponto de vista tecnológico, as indústrias podem reciclar completamente a água de modo que a pegada hídrica azul seja reduzida em todos os lugares até a quantidade de água que é realmente incorporada ao produto. É possível desenvolver indicadores de comparação para produtos específicos ao tomar como referência o desempenho dos melhores produtores. Geralmente, as pegadas hídricas verdes na agricultura podem ser reduzidas substancialmente através do uso mais eficaz dos recursos de água verde; em outras palavras, aumentando a produtividade da água verde. O aumento da produção com base nos recursos de água verde em um determinado lugar reduzirá a necessidade de produção com base nos recursos de água azul em outro local. Uma regra geral para qualquer estratégia de mitigação de pegada hídrica é evitar a pressão da pegada hídrica em áreas ou períodos em que as demandas ambientais de água são violadas. Uma lógica final para a estratégia de mitigação da pegada hídrica pode ser o compartilhamento justo dos recursos hídricos. Essa pode ser a base para reduzir a pegada hídrica, principalmente para os usuários que utilizam muita água.

12. A pegada hídrica é semelhante à pegada de carbono?

Os dois conceitos se completam e cada conceito aborda uma questão ambiental diferente: a pegada de carbono aborda a questão das mudanças climáticas e a pegada hídrica está relacionada à questão da escassez de água doce. Em ambos os casos uma perspectiva da cadeia produtiva é enfatizada. No entanto, também existem diferenças. No caso do carbono não importa onde ocorre a sua emissão, mas no caso da pegada hídrica isso importa bastante. A emissão de carbono em um determinado local pode ser compensada através da redução da emissão ou do sequestro de carbono em outro lugar, o que não se aplica ao caso da água: não é possível diminuir o impacto local do uso da água em um lugar ao economizar água em outro.

13. Podemos obter água doce através da dessalinização da água do mar, então, por que a água é considerada escassa?

A dessalinização da água salgada ou salobra somente pode ser considerada uma solução para o problema da escassez de água doce para um número limitado de aplicações, não porque não seja possível garantir a qualidade ideal da água para todos os propósitos, mas porque o processo de dessalinização demanda energia, que é outro recurso escasso. De fato, a dessalinização é uma forma de substituir um recurso escasso (água doce) por outro (energia). Se em um determinado local a questão da água doce estiver causando uma pressão ainda maior do que a questão da energia, é possível optar pela dessalinização; mas, em geral, não faz sentido propor a dessalinização como uma solução geral para o problema da escassez de água doce. Além disso, fora a questão energética, a dessalinização ainda é um processo muito caro para ser utilizado na agricultura, onde a maior parte da água é utilizada. Por fim, a água salgada ou salobra somente está disponível ao longo das costas, o que significa que o transporte da água dessalinizada implicaria em custos adicionais (incluindo, novamente, a questão da energia).

14. Os produtos deveriam conter um rótulo com informações referentes ao uso da água?

Em um mundo onde muitos produtos estão relacionados com a escassez e a poluição da água, seria muito útil se o histórico dos produtos fosse mais transparente. Seria bom se os fatos fossem disponibilizados publicamente, assim o consumidor poderia escolher. As informações poderiam ser colocadas em um rótulo ou disponibilizadas na internet. Isto seria mais importante no caso dos produtos que geralmente estão associados aos grandes impactos causados aos recursos hídricos, tais como os produtos que contêm algodão ou açúcar. Seria de grande ajuda para os consumidores se as informações referentes ao uso da água fossem contempladas em um rótulo que incluísse outras questões, tais como energia e comércio justo. O ideal seria vivermos em um mundo onde não houvesse necessidade de rótulos, pois teríamos confiança no fato de que todos os produtos seguem critérios rigorosos. Ao considerarmos a ideia da criação de rótulos referentes ao uso da água para os

produtos, é necessário definir que tipo de informação deve constar nesses rótulos. Inserir somente as informações sobre a pegada hídrica total do produto no rótulo funcionaria somente para sensibilizar os consumidores, mas não forneceria informações suficientes para que o consumidor pudesse fazer uma boa escolha entre dois produtos. Para incentivar a escolha de um bom produto, seria necessário especificar os componentes verde-azul-cinza e informar o grau em que a pegada hídrica do produto está relacionada com a violação das demandas de vazão ambiental local ou dos padrões de qualidade da água em seu estado natural. Por exemplo, 3/4 da pegada hídrica estão localizados em áreas onde as demandas de vazão ambiental ou os padrões de qualidade da água em seu estado natural são respeitados, porém 1/4 da pegada hídrica total está localizado em áreas onde essas normas são violadas. Para saber se um produto é 'bom' ou não do ponto de vista dos recursos hídricos vai depender de toda uma escala de critérios, incluindo a existência ou não de planos para promover melhorias continuamente ao longo da cadeia de suprimento. No final das contas, a inclusão de rótulos dessa natureza nos produtos é uma solução parcial. Pode funcionar em termos de sensibilização e referência para a escolha de um produto, mas é apenas uma maneira de promover a transparência do produto, se considerarmos que um rótulo pode conter apenas uma quantidade limitada de informações. Além disso, a inserção de informações em rótulos não ajudará na redução real de uma pegada hídrica.

Questões técnicas

1. O que é uma pegada hídrica?

A pegada hídrica de um produto é um indicador empírico da quantidade, do período e do local onde a água é consumida e poluída, que é medido ao longo de toda a cadeia produtiva de um produto. A pegada hídrica é um indicador multidimensional que mostra não só o volume de água, como também torna explícito o tipo de uso da água (uso consuntivo da água de chuva, da água superficial ou da água subterrânea ou a poluição da água), a localização e o momento em que a água foi usada. A pegada hídrica de um indivíduo, comunidade ou empresa é definida como o volume total de água utilizado para produzir os bens e serviços consumidos pelo indivíduo ou pela comunidade ou produzidos pelas empresas. A pegada hídrica representa a apropriação dos recursos limitados de água doce pelo homem fornecendo, assim, uma base para a discussão sobre a alocação da água e as questões relacionadas ao seu uso sustentável, equitativo e eficiente. Além disso, a pegada hídrica oferece uma base para a avaliação dos impactos dos bens e serviços no nível de bacia hidrográfica e para a elaboração de estratégias para reduzir esses impactos.

2. O que há de novo na pegada hídrica?

Tradicionalmente, as estatísticas focam na medição das 'captações de água' e do 'uso direto da água'. O método de cálculo da pegada hídrica abrange uma perspectiva muito mais ampla.

Em primeiro lugar, a pegada hídrica mede tanto o uso direto quanto o indireto, sendo que o último se refere à água utilizada na cadeia produtiva de um determinado produto. A pegada hídrica conecta o consumidor final, as empresas intermediárias e os comerciantes no que se refere ao uso da água ao longo de toda a cadeia produtiva. Isso é muito importante, pois geralmente o uso direto da água por parte do consumidor é menor do que o uso indireto; e o uso operacional da água em uma empresa é geralmente menor, se comparado ao uso da água na cadeia produtiva. Então, a situação real da dependência da água por parte do consumidor e da empresa pode mudar radicalmente. O método da pegada hídrica difere na medida em que envolve o consumo da água (em oposição à captação da água), considerando que o consumo refere-se à parte da água captada que evapora ou que é incorporada em um produto. Além disso, a pegada hídrica vai além da simples observação do uso da água azul (uso das águas de superfície e subterrânea). Ela também inclui uma componente verde (uso da água da chuva) e uma componente cinza (água poluída).

3. A pegada hídrica é mais que uma metáfora interessante?

O termo 'pegada' é frequentemente utilizado como uma metáfora para se referir ao fato de que a humanidade se apropria de uma porção significativa dos recursos naturais disponíveis (terra, energia, água). No entanto, assim como a 'pegada ecológica' e a 'pegada de carbono', a 'pegada hídrica' é mais do que uma metáfora: existe uma rigorosa estrutura de cálculo, com variáveis bem definidas e mensuráveis e procedimentos bem estabelecidos para calcular as pegadas hídricas de produtos, consumidores individuais, comunidades, países ou empresas. Não aconselhamos as pessoas a utilizarem o conceito da pegada hídrica como uma metáfora, pois a sua força está na sua eficácia quando é utilizado dentro de um contexto de cálculo rigoroso e metas de redução mensuráveis.

4. A água é um recurso renovável, permanece no ciclo, então qual é o problema?

A água é um recurso renovável, mas isso não significa que sua disponibilidade seja ilimitada. Em um determinado período, a precipitação é sempre limitada a uma determinada quantidade. O mesmo vale para a quantidade de água que reabastece as reservas de águas subterrâneas ou as vazões dos rios. A água da chuva pode ser utilizada na produção agrícola e a água dos rios e aquíferos pode ser utilizada para a irrigação, para fins industriais ou domésticos. Mas não se pode usar uma quantidade de água maior do que aquela que está disponível. Não se pode extrair mais água de um rio do que sua vazão permite em um determinado período e, em longo prazo, não se pode extrair mais água de lagos e reservatórios subterrâneos além da proporção com que eles são reabastecidos. A pegada hídrica mede a quantidade de água disponível em um determinado período em que é consumida (evaporada) ou poluída. Desse modo, ela fornece uma medida da quantidade de água disponível que foi apropriada pelo homem. O restante fica para a natureza. A água da chuva que não é utilizada na produção agrícola é mantida para sustentar a vegetação natural. As vazões das águas subterrânea e superficial que não são evaporadas para propósitos humanos ou poluídas são mantidas para sustentar os ecossistemas aquáticos.

5. Existe consenso na maneira como uma pegada hídrica é medida?

Os métodos formulados para o cálculo da pegada hídrica foram divulgados em publicações científicas revisadas por pares. Além disso, também existem exemplos práticos sobre a aplicação dos métodos de cálculo da pegada hídrica de um produto específico, um consumidor individual, uma comunidade, uma empresa ou organização. De modo geral, há consenso com relação à definição e ao cálculo de uma pegada hídrica. No entanto, cada vez que o conceito é aplicado em uma situação nova surgem novas questões práticas. Algumas dessas questões práticas são: o que deve ser incluído e o que deve ser excluído; como lidar com situações em que a cadeia produtiva não pode ser rastreada adequadamente; quais padrões de qualidade de água devem ser adotados ao calcular a pegada hídrica cinza, dentre outras. Assim, a discussão enfatiza como lidar com essas questões práticas.

6. Por que distinguir as pegadas hídricas verde, azul e cinza?

A disponibilidade de água doce na Terra é determinada pela precipitação anual sobre o solo. Uma parte da precipitação evapora e a outra parte escoa para o oceano através de aquíferos e rios. Tanto o fluxo de evaporação quanto o de escoamento podem ser utilizados para propósitos humanos. O fluxo de evaporação pode ser utilizado no crescimento de culturas ou reservado para a manutenção de ecossistemas naturais; a pegada hídrica verde mede qual parte do fluxo de evaporação total foi realmente apropriado para fins humanos. O escoamento – a água que flui em aquíferos e rios – pode ser utilizado para diversas finalidades, incluindo irrigação, lavagem, processamento e refrigeração. A pegada hídrica azul mede o volume das águas de superfície e subterrânea consumidas (em outras palavras, captada e então evaporada ou incorporada em um produto). A pegada hídrica cinza mede o volume da vazão em aquíferos e rios poluídos pelo homem. Desse modo, as pegadas hídricas verde, azul e cinza medem diferentes tipos de apropriação da água. Se for necessário, é possível classificar a pegada hídrica em componentes mais específicos. No caso da pegada hídrica azul, pode ser interessante distinguir a água de superfície, a água subterrânea renovável e a água subterrânea fóssil. No caso da pegada hídrica cinza, pode ser importante distinguir os diferentes tipos de poluição. De preferência, essas informações mais específicas sempre devem servir de base para os resultados agregados da pegada hídrica.

7. Por que devemos avaliar a pegada hídrica verde total de uma cultura? Por que não avaliar a evaporação adicional se comparada com a evaporação da vegetação natural?

Isso depende da questão que se deseja abordar. A pegada hídrica verde mede a evaporação total e se destina a alimentar o debate sobre a alocação da água para diferentes finalidades dentro de um contexto de disponibilidade limitada. As informações sobre o aumento ou a redução da evaporação são relevantes sob a perspectiva da hidrologia da bacia e dos possíveis efeitos a jusante. Pesquisas mostram que, algumas vezes, as culturas podem gerar

um aumento na evaporação quando comparadas à vegetação natural (principalmente no período de rápido crescimento da cultura), e outras vezes podem ocasionar a redução da evaporação (por exemplo, por causa da deterioração do solo ou da redução da biomassa aérea). Em muitos casos, as diferenças não são muito significativas na escala da bacia hidrográfica. A mudança na evaporação é interessante da perspectiva da hidrologia da bacia e dos possíveis efeitos a jusante, mas não para o debate sobre como são alocados os limitados recursos hídricos para diferentes fins. A pegada hídrica deve integrar esse debate. A finalidade da pegada hídrica verde é medir a apropriação humana do fluxo de evaporação, assim como as pegadas hídricas azul/cinza visam à medição da apropriação da vazão de escoamento pelo homem. A pegada hídrica verde mede a parte da água da chuva evaporada que foi apropriada pelo homem e não está, portanto, disponível para a natureza. Assim, a pegada hídrica expressa o custo de uma cultura referente ao seu uso total da água.

8. Não é muito simplista somar todos os metros cúbicos da água utilizada em um único indicador agregado?

A pegada hídrica agregada de um produto, consumidor ou produtor indica o volume total de água doce apropriada (consumida ou poluída). Ela serve como um indicador de referência, um instrumento de conscientização e também para que se tenha uma ideia de onde é utilizada a maior parte da água. A pegada hídrica pode ser apresentada como um número agregado, mas ela, na verdade, é um indicador multidimensional do uso da água que explicita os diferentes tipos de consumo e a poluição da água em função do espaço e do tempo. Para desenvolver estratégias para promover o uso sustentável da água é necessário se aprofundar mais nas informações incorporadas no indicador composto da pegada hídrica.

9. Não devemos ponderar os diferentes componentes da pegada hídrica com base nos seus impactos locais?

A ideia de 'ponderar os fatores' soa como uma ideia atrativa já que nem todo metro cúbico de água utilizada tem o mesmo impacto local. No entanto, nós desencorajamos fortemente essa abordagem por três razões. Primeiro, porque ponderar é e sempre será muito subjetivo, pois existem muitos tipos de impactos (ambientais, sociais e econômicos), alguns dos quais nem podem ser quantificados com facilidade. Segundo, porque os impactos dependem sempre e totalmente do contexto local, o que significa que é impossível definir fatores de ponderação que sejam universalmente válidos. O impacto de um metro cúbico de água retirado de um ponto específico de um rio, em um determinado período, vai depender das características daquele rio, tais como o seu volume e a variabilidade da vazão de suas águas; a competição pela água naquele ponto no rio, naquele determinado momento e os efeitos da retirada sobre os ecossistemas e os outros usuários a jusante. Terceiro, e mais importante,

porque os resultados da pegada hídrica volumétrica contêm, na verdade, informações importantes que são omitidas quando ponderados. As pegadas hídricas se referem aos volumes reais da apropriação da água, o que já é uma informação importante por si só, visto que em um mundo onde os recursos de água doce são escassos, é importante saber quais são os volumes alocados para diferentes finalidades. Outra questão é o fato de que os impactos locais decorrentes do consumo da água são diferentes dos impactos locais causados pela poluição da água. Para poder abordar adequadamente o fato de que os diferentes componentes da pegada hídrica realmente apresentam diferentes impactos locais, enfatizamos que a pegada hídrica é um indicador multidimensional que mostra não apenas os volumes, mas também o tipo de uso da água e os locais e momentos em que o uso ocorreu. A 'contabilização da pegada hídrica' significa que é possível quantificar a pegada hídrica em todos os detalhes. Isto forma uma base adequada para a avaliação de impacto local, na qual são avaliados os diversos impactos para cada componente da pegada hídrica separadamente, no tempo e no espaço. Obviamente, a avaliação de impacto local mostrará que os impactos são diferentes para cada componente da pegada hídrica. Para elaborar políticas hídricas referentes à redução dos impactos da pegada hídrica é mais importante saber qual a relação que os diferentes componentes da pegada hídrica têm com os diversos tipos de impactos, do que ter um índice de medição do impacto da pegada hídrica. O risco de definir um índice supostamente avançado de medição do impacto da pegada hídrica é que esse tipo de índice omite todas as informações relacionadas aos impactos, ao invés de torná-los explícitos.

10. Como o cálculo da pegada hídrica está relacionado à avaliação do ciclo de vida?

A pegada hídrica de um produto pode ser um indicador na avaliação do ciclo de vida (ACV) de um produto. Uma das diversas utilidades da pegada hídrica é a sua aplicação em ACVs. Em um contexto global, a pegada hídrica é um indicador relevante da quantidade dos escassos recursos hídricos do mundo que é utilizada em um determinado produto. Em um contexto mais local, a pegada hídrica espaço-temporalmente explícita pode ser sobreposta a um mapa de estresse hídrico para compor um mapa de impacto da pegada hídrica. Em seguida, os diversos impactos devem ser medidos e agregados para definir um índice de impactos agregados da pegada hídrica. Uma questão importante no caso da ACV é saber como os diferentes tipos de uso do recurso natural e seus impactos ambientais podem ser agregados – o que é uma exigência específica da ACV - e não é relevante para outras aplicações da pegada hídrica. Outras aplicações da pegada hídrica incluem, por exemplo, a identificação da localização dos pontos críticos da pegada hídrica de certos produtos, grupos de consumidores ou empresas e a formulação de medidas estratégicas para reduzir as pegadas hídricas e mitigar os impactos associados. Para essas finalidades a agregação não é necessária, pois a especificação espaço-temporal e do tipo de água é essencial nessas aplicações.

11. Como a pegada hídrica está relacionada com a pegada ecológica e com a pegada de carbono?

O conceito da pegada hídrica faz parte de uma família de conceitos que foram desenvolvidos nas ciências ambientais na última década. Em geral, o termo 'pegada' é conhecido como uma medida quantitativa que indica a apropriação dos recursos naturais pelo homem ou o estresse ambiental causado por ele. A pegada ecológica mede o uso do espaço bioprodutivo (em hectares). A pegada de carbono mede a quantidade de gás do efeito estufa (GEE) que é produzida em unidades de carbono equivalente (em toneladas). A pegada hídrica mede o uso da água (em metros cúbicos por ano). Os três indicadores são complementares uma vez que medem coisas completamente diferentes. Do ponto de vista metodológico, existem muitas semelhanças entre as diferentes pegadas, mas cada uma tem suas próprias peculiaridades devido à singularidade das substâncias em questão. No caso da pegada hídrica é importante especificar o espaço e o tempo. Isso é necessário porque a disponibilidade de água varia muito no espaço e no tempo, de modo que a apropriação da água deve ser sempre considerada em seu contexto local.

12. Qual a diferença entre a pegada hídrica e a água virtual?

A pegada hídrica é um termo que se refere à água utilizada para produzir um determinado produto. Neste contexto, também podemos falar em 'conteúdo de água virtual' de um produto, ao invés de 'pegada hídrica'. O conceito da pegada hídrica, no entanto, tem aplicação mais ampla. É possível, por exemplo, falar sobre a pegada hídrica de um consumidor ao analisar as pegadas hídricas dos bens e serviços consumidos por ele ou sobre a pegada hídrica de um produtor (a empresa, o fabricante, o provedor de serviços) ao analisar a pegada hídrica dos bens e serviços produzidos. Além disso, o conceito da pegada hídrica não se refere simplesmente ao volume de água, como é o caso do termo 'conteúdo de água virtual' de um produto. A pegada hídrica é um indicador multidimensional e não se refere somente ao volume de água utilizado, mas também torna explícito onde a pegada hídrica está localizada, qual é a fonte e quando a água é utilizada. As informações adicionais são fundamentais para avaliar os impactos locais da pegada hídrica de um produto.

Referências Bibliográficas

Acreman, M. and Dunbar, M. J. (2004) 'Defining environmental river flow requirements: A review', Hydrology and Earth System Sciences, vol 8, no 5, pp861–876

Alcamo, J. and Henrichs, T. (2002) 'Critical regions: A model-based estimation of world water resources sensitive to global changes', Aquatic Sciences, vol 64, no 4, pp352– 362

Aldaya, M. M. and Hoekstra, A. Y. (2010) 'The water needed for Italians to eat pasta and pizza', Agricultural Systems, vol 103, pp351–360

Aldaya, M. M. and Llamas, M. R. (2008) 'Water footprint analysis for the Guadiana river basin', Value of Water Research Report Series No 35, UNESCO-IHE, Delft, Netherlands, www.waterfootprint.org/Reports/Report35-WaterFootprint- Guadiana.pdf

Aldaya, M. M., Allan, J. A. and Hoekstra, A. Y. (2010a) 'Strategic importance of green water in international crop trade', Ecological Economics, vol 69, no 4, pp887–894

Aldaya, M. M., Garrido, A., Llamas, M. R., Varelo-Ortega, C., Novo, P. and Casado, R. R. (2010b) 'Water footprint and virtual water trade in Spain', in A. Garrido and M. R. Llamas (eds) Water Policy in Spain, CRC Press, Leiden, Netherlands, pp49–59

Aldaya, M. M., Muñoz, G. and Hoekstra, A. Y. (2010c) 'Water footprint of cotton, wheat and rice production in Central Asia', Value of Water Research Report Series No 41, UNESCO-IHE, Delft, Netherlands, www.waterfootprint.org/Reports/Report41-WaterFootprintCentralAsia.pdf

Aldaya, M. M., Martinez-Santos, P. and Llamas, M. R. (2010d) 'Incorporating the water footprint and virtual water into policy: Reflections from the Mancha Occidental Region, Spain', Water Resources Management, vol 24, no 5, pp941–958

Allan, J. A. (2003) 'Virtual water – the water, food, and trade nexus: Useful concept or misleading metaphor?', Water International, vol 28, no 1, pp106–113

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. and Smith, M. (1998) 'Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements', FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Food and Agriculture Organization, Rome

ANZECC and ARMCANZ (Australian and New Zealand Environment and Conservation Council and Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand) (2000) 'Australian and New Zealand guidelines for fresh and marine water quality', ANZECC and ARMCANZ, www.mincos.gov.au/publications/australian_and_new_zealand_guidelines_for_fresh_and_marine_ water_quality

Arthington, A. H., Bunn, S. E., Poff, N. L. and Naiman, R. J. (2006) 'The challenge of providing environmental flow rules to sustain river ecosystems', Ecological Applications, vol 16, no 4, pp1311–1318

Austrian Federal Ministry of Agriculture, Forestry, Environment and Water Management (2010) 'BGBl 2010 II Nr. 99: Verordnung des Bundesministers für Landund Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Festlegung des ökologischen Zustandes für Oberflächengewässer (Qualitätszielverordnung Ökologie Oberflächengewässer – QZV Ökologie OG)'

Barton, B. (2010) 'Murky waters? Corporate reporting on water risk, A benchmarking study of 100 companies', Ceres, Boston, MA, www.ceres.org/Document.Doc?id=547

Batjes, N. H. (2006) 'ISRIC-WISE derived soil properties on a 5 by 5 arc-minutes global grid', Report 2006/02, ISRIC – World Soil Information, Wageningen, Netherlands, available through www.isric.org

Berger, M. and Finkbeiner, M. (2010) 'Water footprinting: How to address water use in life cycle assessment?', Sustainability, vol 2, pp919–944

Brown, S., Schreier, H. and Lavkulich, L. M. (2009) 'Incorporating virtual water into water management: A British Columbia example', Water Resources Management, vol 23, no 13, 2681–2696

Bulsink, F., Hoekstra, A. Y. and Booij, M. J. (2010) 'The water footprint of Indonesian provinces related to the consumption of crop products', Hydrology and Earth System Sciences, vol 14, no 1, pp119–128

Canadian Council of Ministers of the Environment (2010) 'Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life', Canadian Environmental Quality Guidelines, Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg, Canada, http://ceqg-rcqe.ccme.ca

CBD (Convention on Biological Diversity) (2002) 'Global strategy for plant conservation', CBD, Montreal, Canada, www.cbd.int

Chahed, J., Hamdane, A. and Besbes, M. (2008) 'A comprehensive water balance of Tunisia: Blue water, green water and virtual water', Water International, vol 33, no 4, pp415–424

Chapagain, A. K. and Hoekstra, A. Y. (2003) 'Virtual water flows between nations in relation to trade in livestock and livestock products', Value of Water Research Report Series No.13, UNESCO-IHE, Delft, Netherlands, www.waterfootprint.org/Reports/Report13.pdf

Chapagain, A. K. and Hoekstra, A. Y. (2004) 'Water footprints of nations', Value of Water Research Report Series No.16, UNESCO-IHE, Delft, Netherlands, www.waterfootprint.org/Reports/Report16Vol1.pdf

Chapagain, A. K., and Hoekstra, A. Y. (2007) 'The water footprint of coffee and tea consumption in the Netherlands', Ecological Economics, vol 64, no 1, pp109–118

Chapagain, A. K. and Hoekstra, A. Y. (2008) 'The global component of freshwater demand and supply: An assessment of virtual water flows between nations as a result of trade in agricultural and industrial products', Water International, vol 33, no 1, pp19–32

Chapagain, A. K. and Hoekstra, A. Y. (2010) 'The green, blue and grey water footprint of rice from both a production and consumption perspective', Value of Water Research Report Series No.40, UNESCO-IHE, Delft, Netherlands, www.waterfootprint.org/Reports/Report40-WaterFootprintRice.pdf

Chapagain, A. K. and Orr, S. (2008) UK Water Footprint: The Impact of the UK's Food and Fibre Consumption on Global Water Resources, WWF-UK, Godalming

Chapagain, A. K., and Orr, S. (2009) 'An improved water footprint methodology linking global consumption to local water resources: A case of Spanish tomatoes', Journal of Environmental Management, vol 90, pp1219–1228

Chapagain, A. K. and Orr, S. (2010) 'Water footprint of Nestlé's "Bitesize Shredded Wheat": A pilot study to account and analyse the water footprints of Bitesize Shredded Wheat in the context of water availability along its supply chain', WWFUK, Godalming

Chapagain, A. K., Hoekstra, A. Y. and Savenije, H. H. G. (2006a) 'Water saving through international trade of agricultural products', Hydrology and Earth System Sciences, vol 10, no 3, pp455–468

Chapagain, A. K., Hoekstra, A. Y., Savenije, H. H. G. and Gautam, R. (2006b) 'The water footprint of cotton consumption: An assessment of the impact of worldwide consumption of cotton products on the water resources in the cotton producing countries', Ecological Economics, vol 60, no 1, pp186–203

Chinese Ministry of Environmental Protection (2002) 'Environmental quality standard for surface water', Ministry of Environmental Protection, The People's Republic of China, http://english.mep.gov.cn/standards_reports/standards/water_environment/quality_standard/200710/t20071024_111792.htm

Clark, G. M., Mueller, D. K., Mast, M. A. (2000) 'Nutrient concentrations and yields in undeveloped stream basins of the United States', Journal of the American Water Resources Association, vol 36, no 4, pp849–860

CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) (2005) Brazilian Water Quality Standards for Rivers, The National Council of the Environment, Brazilian Ministry of the Environment

Crommentuijn, T., Sijm, D., de Bruijn, J., van den Hoop, M., van Leeuwen, K. and van de Plassche, E. (2000) 'Maximum permissible and negligible concentrations for metals and metalloids in the Netherlands, taking into account background concentrations', Journal of Environmental Management, vol 60, pp121–143

CropLife Foundation (2006) National Pesticide Use Database 2002, CropLife Foundation, Washington, DC, www.croplifefoundation.org/cpri_npud2002.htm

Dabrowski, J. M., Murray, K., Ashton, P. J. and Leaner, J. J. (2009) 'Agricultural impacts on water quality and implications for virtual water trading decisions', Ecological Economics, vol 68, no 4, pp1074–1082

Dastane, N. G. (1978) 'Effective rainfall in irrigated agriculture', Irrigation and Drainage Paper No 25, Food and Agriculture Organization, Rome, www.fao.org/docrep/ X5560E/x5560e00.htm#Contents

Dietzenbacher, E. and Velazquez, E. (2007) 'Analysing Andalusian virtual water trade in an input-output framework', Regional Studies, vol 41, no 2, pp185–196

Dominguez-Faus, R., Powers, S. E., Burken, J. G. and Alvarez, P. J. (2009) 'The water footprint of biofuels: A drink or drive issue?', Environmental Science & Technology, vol 43, no 9, pp3005–3010

Dyson, M., Bergkamp, G. and Scanlon, J. (eds) (2003) Flow: The Essentials of Environmental Flows, IUCN, Gland, Switzerland Ecoinvent (2010) Ecoinvent Data v2.2, Ecoinvent Centre, Switzerland, www.ecoinvent.org

Elkington, J. (1997) Cannibals with Forks: The Triple Bottom Line of 21st Century Business, Capstone, Oxford

Ene, S. A. and Teodosiu, C. (2009) 'Water footprint and challenges for its application to integrated water resources management in Romania', Environmental Engineering and Management Journal, vol 8, no 6, pp1461–1469

Environment Agency (2007) 'Towards water neutrality in the Thames Gateway', summary report, science report SC060100/SR3, Environment Agency, Bristol

EPA (Environmental Protection Agency) (2005) 'List of drinking water contaminants: Ground water and drinking water', US Environmental Protection Agency, www.epa. gov/safewater/mcl.html#1

EPA (2010a) 'Overview of impaired waters and total maximum daily loads program', US Environmental Protection Agency, www.epa.gov/owow/tmdl/intro.html

EPA (2010b) 'National recommended water quality criteria', US Environmental Protection Agency, www.epa.gov/waterscience/criteria/wqctable/index. html#nonpriority

Ercin, A. E., Aldaya, M. M. and Hoekstra, A. Y. (2009) 'A pilot in corporate water footprint accounting and impact assessment: The water footprint of a sugarcontaining carbonated beverage', Value of Water Research Report Series No 39, UNESCO-IHE, Delft, Netherlands, www.waterfootprint.org/Reports/Report39-WaterFootprintCarbonatedBeverage.pdf

EU (European Union) (2000) 'Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy', EU, http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:2000L0060:20090113:EN:PDF

EU (2006) 'Directive 2006/44/EC of the European Parliament and of the Council of 6 September 2006 on the quality of fresh waters needing protection or improvement in order to support fish life', EU, Brussels, http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:264:0020:0031:EN:pdf

EU (2008) 'Directive 2008/105/EC on environmental quality standards in the field of water policy', EU, http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:348:0084:0097:EN:PDF

Eurostat (2007) The Use of Plant Protection Products in the European Union: Data 1992–2003, Eurostat Statistical Books, European Commission, http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_OFFPUB/KS-76-06-669/EN/KS-76-06-669-EN.PDF

Falkenmark, M. (1989) 'The massive water scarcity now threatening Africa: Why isn't it being addressed?', Ambio, vol 18, no 2, pp112–118

Falkenmark, M. (2003) 'Freshwater as shared between society and ecosystems: from divided approaches to integrated challenges', Philosophical Transaction of the Royal Society of London B, vol 358, no 1440, pp2037–2049

Falkenmark, M. and Lindh, G. (1974) 'How can we cope with the water resources situation by the year 2015?', Ambio, vol 3, nos 3–4, pp114–122

Falkenmark, M. and Rockström, J. (2004) Balancing Water for Humans and Nature: The New Approach in Ecohydrology, Earthscan, London

FAO (Food and Agriculture Organization) (2003) Technical conversion factors for agricultural commodities, FAO, Rome, www.fao.org/fileadmin/templates/ess/documents/methodology/tcf.pdf

FAO (2005) 'New LocClim, Local Climate Estimator CD-ROM', FAO, Rome, www.fao.org/nr/climpag/pub/en3_051002_en.asp

FAO (2010a) 'CLIMWAT 2.0 database', FAO, Rome, www.fao.org/nr/water/infores_databases_climwat.html

FAO (2010b) 'CROPWAT 8.0 model', FAO, Rome, www.fao.org/nr/water/infores_databases_cropwat.html.

FAO (2010c) 'FertiStat database', FAO, Rome, www.fao.org/ag/agl/fertistat

FAO (2010d) 'FAOSTAT database', FAO, Rome, http://faostat.fao.org

FAO (2010e) 'AQUACROP 3.1', FAO, Rome, www.fao.org/nr/water/aquacrop.html

FAO (2010f) 'Global Information and Early Warning System (GIEWS)', FAO, Rome, www.fao.org/giews/countrybrief/index.jsp

FAO (2010g) 'Global map of monthly reference evapotranspiration and precipitation – at 10 arc minutes', GeoNetwork grid database, www.fao.org/geonetwork/srv/en

FAO (2010h) 'Global map maximum soil moisture – at 5 arc minutes', GeoNetwork grid database, www.fao.org/geonetwork/srv/en.

Galan-del-Castillo, E. and Velazquez, E. (2010) 'From water to energy: The virtual water content and water footprint of biofuel consumption in Spain', Energy Policy, vol 38, no 3, pp1345–1352

Galloway, J. N., Burke, M., Bradford, G. E., Naylor, R., Falcon, W., Chapagain, A. K., Gaskell, J. C., McCullough, E., Mooney, H. A., Oleson, K. L. L., Steinfeld, H., Wassenaar, T. and Smil, V. (2007) 'International trade in meat: The tip of the pork chop', Ambio, vol 36, no 8, pp622–629

Garrido, A., Llamas, M. R., Varela-Ortega, C., Novo, P., Rodríguez-Casado, R. and Aldaya, M. M. (2010) Water Footprint and Virtual Water Trade in Spain, Springer, New York, NY

Gerbens-Leenes, P. W. and Hoekstra, A. Y. (2009) 'The water footprint of sweeteners and bio-ethanol from sugar cane, sugar beet and maize', Value of Water Research Report Series No 38, UNESCO-IHE, Delft, Netherlands, www.waterfootprint.org/Reports/Report38-WaterFootprint-sweeteners-ethanol.pdf

Gerbens-Leenes, P. W. and Hoekstra, A. Y. (2010) 'Burning water: The water footprint of biofuel-based transport', Value of Water Research Report Series No 44, UNESCO-IHE, Delft, Netherlands, www.waterfootprint.org/Reports/Report44-BurningWater-WaterFootprintTransport.pdf

Gerbens-Leenes, P. W., Hoekstra, A. Y. and Van der Meer. T. H. (2009a) 'The water footprint of energy from biomass: A quantitative assessment and consequences of an increasing share of bio-energy in energy supply', Ecological Economics, vol 68, no 4, pp1052–1060

Gerbens-Leenes, W., Hoekstra, A. Y. and Van der Meer, T. H. (2009b) 'The water footprint of bioenergy', Proceedings of the National Academy of Sciences, vol 106, no 25, pp10219–10223

Gerbens-Leenes, W., Hoekstra, A. Y. and Van der Meer, T. H. (2009c) 'A global estimate of the water footprint of Jatropha curcas under limited data availability', Proceedings of the National Academy of Sciences, vol 106, no 40, pE113

Gleick, P. H. (ed) (1993) Water in Crisis: A Guide to the World's Fresh Water Resources, Oxford University Press, Oxford

Gleick, P. H. (2010) 'Water conflict chronology', www.worldwater.org/conflict

GWP (Global Water Partnership) (2000) 'Integrated water resources management', TAC Background Papers No 4, GWP, Stockholm

GWP and INBO (International Network of Basin Organizations) (2009) A Handbook for Integrated Water Resources Management in Basins, GWP, Stockholm, and INBO, Paris Japanese Ministry of the Environment (2010) 'Environmental quality standards for water pollution', Ministry of the Environment, Government of Japan, www.env. go.jp/en/water

Heffer, P. (2009) 'Assessment of fertilizer use by crop at the global level', International Fertilizer Industry Association, Paris, www.fertilizer.org/ifa/Home-Page/LIBRARY/Publication-database.html/Assessment-of-Fertilizer-Use-by-Crop-at-the-Global-Level-2006-07-2007-08.html2

Herendeen, R. A. (2004) 'Energy analysis and EMERGY analysis: A comparison', Ecological Modelling, vol 178, pp227–237.

Hoekstra, A. Y. (ed) (2003) 'Virtual water trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade', 12–13 December 2002, Value of Water Research Report Series No 12, UNESCO-IHE, Delft, Netherlands, www.waterfootprint.org/Reports/Report12.pdf

Hoekstra, A. Y. (2006) 'The global dimension of water governance: Nine reasons for global arrangements in order to cope with local water problems', Value of Water Research Report Series No 20, UNESCO-IHE, Delft, Netherlands, www.waterfootprint.org/Reports/Report_20_Global_Water_Governance.pdf

Hoekstra, A. Y. (2008a) 'Water neutral: Reducing and offsetting the impacts of water footprints', Value of Water Research Report Series No 28, UNESCO-IHE, Delft, Netherlands, www.waterfootprint.org/Reports/Report28-WaterNeutral.pdf

Hoekstra, A. Y. (2008b) 'The relation between international trade and water resources management', in K. P. Gallagher (ed) Handbook on Trade and the Environment, Edward Elgar Publishing, Cheltenham, pp116–125

Hoekstra, A. Y. (2008c) 'The water footprint of food', in J. Förare (ed) Water For Food, The Swedish Research Council for Environment, Agricultural Sciences and Spatial Planning, Stockholm, pp49–60

Hoekstra, A. Y. (2009) 'Human appropriation of natural capital: A comparison of ecological footprint and water footprint analysis', Ecological Economics, vol 68, no 7, pp1963–1974

Hoekstra, A. Y. (2010a) 'The relation between international trade and freshwater scarcity', Working Paper ERSD-2010-05, January 2010, World Trade Organization, Geneva

Hoekstra, A. Y. (2010b) 'The water footprint of animal products', in J. D'Silva and J. Webster (eds) The Meat Crisis: Developing More Sustainable Production and Consumption, Earthscan, London, pp22–33

Hoekstra, A. Y. and Chapagain, A. K. (2007a) 'Water footprints of nations: Water use by people as a function of their consumption pattern', Water Resources Management, vol 21, no 1, pp35–48

Hoekstra, A. Y. and Chapagain, A. K. (2007b) 'The water footprints of Morocco and the Netherlands: Global water use as a result of domestic consumption of agricultural commodities', Ecological Economics, vol 64, no 1, pp143–151

Hoekstra, A. Y. and Chapagain, A. K. (2008) Globalization of Water: Sharing the Planet's Freshwater Resources, Blackwell Publishing, Oxford

Hoekstra, A. Y. and Hung, P. Q. (2002) 'Virtual water trade: A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade', Value of Water Research Report Series No 11, UNESCO-IHE, Delft, Netherlands, www.waterfootprint.org/Reports/Report11.pdf

Hoekstra, A. Y. and Hung, P. Q. (2005) 'Globalisation of water resources: International virtual water flows in relation to crop trade', Global Environmental Change, vol 15, no 1, pp45–56

Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M. and Mekonnen, M. M. (2009a) Water Footprint Manual: State of the Art 2009, Water Footprint Network, Enschede, the Netherlands, www.waterfootprint.org/downloads/WaterFootprintManual2009.pdf

Hoekstra, A. Y., Gerbens-Leenes, W. and Van der Meer, T. H. (2009b) 'Water footprint accounting, impact assessment, and life-cycle assessment', Proceedings of the National Academy of Sciences, vol 106, no 40, pE114

Hoekstra, A. Y., Gerbens-Leenes, W. and Van der Meer, T. H. (2009c) 'The water footprint of Jatropha curcas under poor growing conditions', Proceedings of the National Academy of Sciences, vol 106, no 42, pE119

Hubacek, K., Guan, D. B., Barrett, J. and Wiedmann, T. (2009) 'Environmental implications of urbanization and lifestyle change in China: Ecological and water footprints', Journal of Cleaner Production, vol 17, no 14, pp1241–1248

Humbert, S., Loerincik, Y., Rossi, V., Margnia, M. and Jolliet, O. (2009) 'Life cycle assessment of spray dried soluble coffee and comparison with alternatives (drip filter and capsule espresso)', Journal of Cleaner Production, vol 17, no 15, pp1351–1358

IFA (International Fertilizer Industry Association) (2009) 'IFA data', IFA, www.fertilizer. org/ifa/ifadata/search

IFC, LimnoTech, Jain Irrigation Systems and TNC (2010) Water Footprint Assessments: Dehydrated Onion Products, Micro-irrigation Systems – Jain Irrigation Systems Ltd, International Finance Corporation, Washington, DC Manual

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2006) '2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories', IPCC, www.ipcc-nggip.iges.or.jp

Jongschaap, R. E. E., Blesgraaf, R. A. R., Bogaard, T. A., Van Loo, E. N. and Savenije, H. H. G. (2009) 'The water footprint of bioenergy from Jatropha curcas L.', Proceedings of the National Academy of Sciences, vol 106, no 35, ppE92–E92

Kampman, D. A., Hoekstra, A. Y. and Krol, M. S. (2008) 'The water footprint of India', Value of Water Research Report Series No 32, UNESCO-IHE, Delft, Netherlands

Koehler, A. (2008) 'Water use in LCA: managing the planet's freshwater resources', International Journal of Life Cycle Assessment, vol 13, no 6, pp451–455

Kuiper, J., Zarate, E, and Aldaya, M. (2010) 'Water footprint assessment , policy and practical measures in a specific geographical setting', a study in collaboration with the UNEP Division of Technology, Industry and Economics, Water Footprint Network, Enschede, Netherlands

Kumar, V. and Jain, S. K. (2007) 'Status of virtual water trade from India', Current Science, vol 93, pp1093–1099

LAWA-AO (2007) 'Monitoring framework design, Part B, Valuation bases and methods descriptions: Background and guidance values for physico-chemical components', www.vsvi-sachsen.de/Beitr%E4ge%20aus%20unseren%20Veranst/17.09.2008%20Tausalz%20Recht%20RAKONArbeitspapierII_Stand_07_03_2007.pdf

Levinson, M., Lee, E., Chung, J., Huttner, M., Danely, C., McKnight, C. and Langlois, A. (2008) Watching Water: A Guide to Evaluating Corporate Risks in a Thirsty World, J. P. Morgan, New York, NY

Liu, J. and Savenije, H. H. G. (2008) 'Food consumption patterns and their effect on water requirement in China', Hydrology and Earth System Sciences, vol 12, no 3, pp887–898.

Liu, J. G., Williams, J. R., Zehnder, A. J. B. and Yang, H. (2007) 'GEPIC: Modelling wheat yield and crop water productivity with high resolution on a global scale', Agricultural Systems, vol 94, no 2, pp478–493

Liu, J., Zehnder, A. J. B. and Yang, H. (2009) 'Global consumptive water use for crop production: The importance of green water and virtual water', Water Resources Research, vol 45, pW05428

Ma, J., Hoekstra, A. Y., Wang, H., Chapagain, A. K. and Wang, D. (2006) 'Virtual versus real water transfers within China', Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, vol 361, no 1469, pp835–842

MacDonald, D. D., Berger, T., Wood, K., Brown, J., Johnsen, T., Haines, M. L., Brydges, K., MacDonald, M. J., Smith, S. L. and Shaw, D. P. (2000) Compendium of Environmental Quality Benchmarks, MacDonald Environmental Sciences, Nanaimo, British Columbia, www.pyr.ec.gc.ca/georgiabasin/reports/Environmental%20 Benchmarks/GB-99-01_E.pdf

Maes, W. H., Achten, W. M. J. and Muys, B. (2009) 'Use of inadequate data and methodological errors lead to an overestimation of the water footprint of Jatropha curcas', Proceedings of the National Academy of Sciences, vol 106, no 34, ppE91–E91

MAPA (2001) Calendario de siembra, recolección y comercialización, años 1996–1998, Spanish Ministry of Agriculture, Madrid

MARM (2009) Agro-alimentary Statistics Yearbook, Spanish Ministry of the Environment and Rural and Marine Affairs, www.mapa.es/es/estadistica/pags/anuario/ introduccion.htm

Mekonnen, M. M. and Hoekstra, A. Y. (2010a) 'A global and high-resolution assessment of the green, blue and grey water footprint of wheat', Hydrology and Earth System Sciences, vol 14, pp1259–1276

Mekonnen, M. M. and Hoekstra, A. Y. (2010b) 'Mitigating the water footprint of export cut flowers from the Lake Naivasha Basin, Kenya', Value of Water Research Report Series No 45, UNESCO-IHE, Delft, Netherlands, www.waterfootprint.org/Reports/Report45-WaterFootprint-Flowers-Kenya.pdf

Milà i Canals, L., Chenoweth, J., Chapagain, A., Orr, S., Antón, A. and Clift, R. (2009) 'Assessing freshwater use impacts in LCA: Part I – inventory modelling and characterisation factors for the main impact pathways', Journal of Life Cycle Assessment, vol 14, no 1, pp28–42

Mitchell, T. D. and Jones, P. D. (2005) 'An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids', International Journal of Climatology, vol 25, pp693–712, http://cru.csi.cgiar.org/continent_selection.asp

Monfreda, C., Ramankutty, N. and Foley, J. A. (2008) 'Farming the planet: 2. Geographic distribution of crop areas, yields, physiological types, and net primary production in the year 2000', Global Biogeochemical Cycles, vol 22, no 1, pGB1022, www.geog.mcgill.ca/landuse/pub/Data/175crops2000

Morrison, J., Morkawa, M., Murphy, M. and Schulte, P. (2009) Water Scarcity and Climate Change: Growing Risks for Business and Investors, CERES, Boston, MA, www.ceres.org/Document.Doc?id=406

Morrison, J., Schulte, P. and Schenck, R. (2010) Corporate Water Accounting: An Analysis of Methods and Tools for Measuring Water Use and its Impacts, United Nations Global Compact, New York, NY, www.pacinst.org/reports/corporate_water_accounting_analysis/corporate_water_accounting_analysis.pdf

NASS (2009) Agricultural Chemical Use Database, National Agricultural Statistics Service, www.pestmanagement.info/nass

Nazer, D. W., Siebel, M. A., Van der Zaag, P., Mimi, Z. and Gijzen, H. J. (2008) 'Water footprint of the Palestinians in the West Bank', Journal of the American Water Resources Association, vol 44, no 2, pp449–458

NCDC (National Climatic Data Center) (2009) Global surface summary of the day, NCDC, www.ncdc.noaa.gov/cgi-bin/res40.pl?page=gsod.html, data available from ftp://ftp.ncdc.noaa.gov/pub/data/gsod

Noss, R. F. and Cooperrider, A. Y. (1994) Saving Nature's Legacy: Protecting and Restoring Biodiversity, Island Press, Washington, DC

Novo, P., Garrido, A. and Varela-Ortega, C. (2009) 'Are virtual water "flows" in Spanish grain trade consistent with relative water scarcity?', Ecological Economics, vol 68, no 5, pp1454–1464

Odum, H. T. (1996) Environmental Accounting: Emergy and Environmental Decision Making, Wiley, New York, NY

Official State Gazette (2008) 'Approval of the water planning instruction', Ministry of the Environment and Rural and Marine Affairs, Official State Gazette 229, Madrid, Spain, 22 September 2008, www.boe.es/boe/dias/2008/09/22/pdfs/A38472-38582. pdf

Oregon State University (2010) 'The transboundary freshwater dispute database', Oregon State University, Department of Geosciences, Corvallis, OR, www.transboundarywaters.orst.edu/database

Pegram, G., Orr, S. and Williams, C. (2009) Investigating Shared Risk in Water: Corporate Engagement with the Public Policy Process, WWF, Godalming

Perry, C. (2007) 'Efficient irrigation; Inefficient communication; flawed recommendations', Irrigation and Drainage, vol 56, no 4, pp367–378

Pfister, S. and Hellweg, S. (2009) 'The water "shoesize" vs. footprint of bioenergy', Proceedings of the National Academy of Sciences, vol 106, no 35, ppE93–E94

Pfister, S., Koehler, A. and Hellweg, S. (2009) 'Assessing the environmental impacts of freshwater consumption in LCA', Environmental Science and Technology, vol 43, pp4098–4104

Poff, N. L., Richter, B. D., Aarthington, A. H., Bunn, S. E., Naiman, R. J., Kendy, E., Acreman, M., Apse, C., Bledsoe, B. P., Freeman, M. C., Henriksen, J., Jacobson, R. B., Kennen, J. G., Merritt, D. M., O'Keeffe, J. H., Olden, J. D., Rogers, K., Tharme, R. E. and Warner, A. (2010) 'The ecological limits of hydrologic alteration (ELOHA): A new framework for developing regional environmental flow standards', Freshwater Biology, vol 55, no 1, pp147–170

Portmann, F., Siebert, S., Bauer, C. and Döll, P. (2008) 'Global data set of monthly growing areas of 26 irrigated crops', Frankfurt Hydrology Paper 06, Institute of Physical Geography, University of Frankfurt, Frankfurt am Main, www.geo. unifrankfurt. de/ipg/ag/dl/forschung/MIRCA/index.html

Portmann, F. T., Siebert, S. and Döll P. (2010) 'MIRCA2000 – Global monthly irrigated and rainfed crop areas around the year 2000: A new high-resolution data set for agricultural and hydrological modeling', Global Biogeochemical Cycles, vol 24, GB1011

Postel, S. L., Daily, G. C. and Ehrlich, P. R. (1996) 'Human appropriation of renewable fresh water', Science, vol 271, pp785–788

Raskin, P. D., Hansen, E. and Margolis, R. M. (1996) 'Water and sustainability: global patterns and long-range problems', Natural Resources Forum, vol 20, no 1, pp1–5

Rebitzer, G., Ekvall, T., Frischknecht, R., Hunkeler, D., Norris, G., Rydberg, T., Schmidt, W. P., Suh, S., Weidema, B. P. and Pennington, D. W. (2004) 'Life cycle assessment Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications', Environment International, vol 30, pp701–720

Rees, W. E. (1992) 'Ecological footprints and appropriated carrying capacity: What urban economics leaves out', Environment and Urbanization, vol 4, no 2, pp121–130

Rees, W. E. (1996) 'Revisiting carrying capacity: Area-based indicators of sustainability', Population and Environment, vol 17, no 3, pp195–215

Rees, W. E. and Wackernagel, M. (1994) 'Ecological footprints and appropriated carrying capacity: Measuring the natural capital requirements of the human economy', in A. M. Jansson, M. Hammer, C. Folke and R. Costanza (eds) Investing in Natural Capital: The Ecological Economics Approach to Sustainability, Island Press, Washington, DC, pp362–390

Richter, B. D. (2010) 'Re-thinking environmental flows: From allocations and reserves to sustainability boundaries', River Research and Applications, vol 26, no 8, pp1052– 1063

Ridoutt, B. G. and Pfister, S. (2010) 'A revised approach to water footprinting to make transparent the impacts of consumption and production on global freshwater scarcity', Global Environmental Change, vol 20, no 1, pp113–120

Ridoutt, B. G., Eady, S. J., Sellahewa, J. Simons, L. and Bektash, R. (2009) 'Water footprinting at the product brand level: case study and future challenges', Journal of Cleaner Production, vol 17, no 13, pp1228–1235

Ridoutt, B. G., Juliano, P., Sanguansri, P. and Sellahewa, J. (2010) 'The water footprint of food waste: Case study of fresh mango in Australia', Journal of Cleaner Production, vol 18, nos 16–17, pp1714–1721

Rockström, J. (2001) 'Green water security for the food makers of tomorrow: Windows of opportunity in drought-prone savannahs', Water Science and Technology, vol 43, no 4, pp71–78

Romaguera, M., Hoekstra, A. Y., Su, Z., Krol, M. S. and Salama, M. S. (2010) 'Potential of using remote sensing techniques for global assessment of water footprint of crops', Remote Sensing, vol 2, no 4, pp1177–1196

SABMiller and WWF-UK (2009) Water Footprinting: Identifying and Addressing Water Risks in the Value Chain, SABMiller, Woking and WWF-UK, Goldalming

SABMiller, GTZ and WWF (2010) Water Futures: Working Together for a Secure Water Future, SABMiller, Woking and WWF-UK, Goldalming

Safire, W. (2008) 'On language: Footprint', New York Times, 17 February 2008

Savenije, H. H. G. (2000) 'Water scarcity indicators: The deception of the numbers', Physics and Chemistry of the Earth, vol 25, no 3, pp199–204

Siebert, S. and Döll, P. (2010) 'Quantifying blue and green virtual water contents in global crop production as well as potential production losses without irrigation', Journal of Hydrology, vol 384, no 3-4, pp198–207

Siebert, S., Döll, P., Feick, S., Hoogeveen, J. and Frenken, K. (2007) 'Global map of irrigation areas, version 4.0.1.', Johann Wolfgang Goethe University, Frankfurt am Main, and FAO, Rome, www.fao.org/nr/water/aquastat/irrigationmap/index10.stm

Smakhtin, V., Revenga, C. and Döll, P. (2004) 'A pilot global assessment of environmental water requirements and scarcity', Water International, vol 29, no 3, pp307–317

Smith, M. (1992) 'CROPWAT – A computer program for irrigation planning and management', Irrigation and Drainage Paper 46, FAO, Rome

Smith, R. A., Alexander, R. and Schwarz, G. E. (2003) 'Natural background concentrations of nutrients in streams and rivers of the conterminous United States', Environmental Science and Technology, vol 37, no 14, pp3039–3047

Sonnenberg, A., Chapagain, A., Geiger, M. and August, D. (2009) Der Wasser-Fußabdruck Deutschlands: Woher stammt das Wasser, das in unseren Lebensmitteln steckt?, WWF Deutschland, Frankfurt

South African Department of Water Affairs and Forestry (1996) South African Water Quality Guidelines, vol 7, Aquatic Ecosystems, Department of Water Affairs and Forestry

Svancara, L. K., Brannon, R., Scott, J. M., Groves, C. R., Noss, R. F. and Pressey, R. L. (2005) 'Policy-driven versus evidence-based conservation: A review of political targets and biological needs', BioScience, vol 55, no 11, pp989–995

TCCC and TNC (The Coca-Cola Company and The Nature Conservancy) (2010) Product Water Footprint Assessments: Practical Application in Corporate Water Stewardship, TCCC, Atlanta, and TNC, Arlington

UKTAG (UK Technical Advisory Group) (2008) 'UK environmental standards and conditions (Phase 1)', UK Technical Advisory Group on the Water Framework Directive, www.wfduk.org/UK_Environmental_Standards/ES_Phase1_final_report

UN (United Nations) (1948) Universal Declaration of Human Rights, UN General Assembly, Resolution 217 A (III) of 10 December 1948, Paris

UN (2010a) Trends in Sustainable Development: Towards Sustainable Consumption and Production, UN, New York, NY, www.un.org/esa/dsd/resources/res_pdfs/publications/trends/trends_sustainable_consumption_production/Trends_in_sustainable_consumption_and_production.pdf

UN (2010b) 'The human right to water and sanitation', UN General Assembly, 64th session, agenda item 48, UN, New York, NY

UNEP (United Nations Environment Programme) (2009) 'GEMSTAT: Global water quality data and statistics', Global Environment Monitoring System, UNEP, Nairobi, Kenya, www.gemstat.org

UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization) (2009) IWRM Guidelines at River Basin Level, Part I: Principles, UNESCO, Paris

USDA (United States Department of Agriculture) (1994) 'The major world crop areas and climatic profiles', Agricultural Handbook No 664, World Agricultural Outlook Board, USDA, www.usda.gov/oce/weather/pubs/Other/MWCACP/MajorWorldCropAreas.pdf

Van der Leeden, F., Troise, F. L. and Todd, D. K. (1990) The Water Encyclopedia, second edition, CRC Press, Boca Raton,FL

Van Lienden, A. R., Gerbens-Leenes, P. W., Hoekstra, A. Y. and Van der Meer, T. H. (2010) 'Biofuel scenarios in a water perspective: The global blue and green water footprint of road transport in 2030', Value of Water Research Report Series No 43, UNESCO-IHE, Delft, Netherlands, www.waterfootprint.org/Reports/Report43-WaterFootprint-BiofuelScenarios.pdf

Van Oel, P. R. and Hoekstra, A. Y. (2010) 'The green and blue water footprint of paper products: Methodological considerations and quantification', Value of Water Research Report Series No 46, UNESCO-IHE, Delft, Netherlands, www.waterfootprint.org/Reports/Report46-WaterFootprintPaper

Van Oel, P. R., Mekonnen M. M. and Hoekstra, A. Y. (2008) 'The external water footprint of the Netherlands: Quantification and impact assessment', Value of Water Research Report Series No 33, UNESCO-IHE, Delft, Netherlands, www.waterfootprint.org/Reports/Report33-ExternalWaterFootprintNetherlands.pdf

Van Oel, P. R., Mekonnen M. M. and Hoekstra, A. Y. (2009) 'The external water footprint of the Netherlands: Geographically-explicit quantification and impact assessment', Ecological Economics, vol 69, no 1, pp82–92

Verkerk, M. P., Hoekstra, A. Y. and Gerbens-Leenes, P. W. (2008) 'Global water governance: Conceptual design of global institutional arrangements', Value of Water Research Report Series No 26, UNESCO-IHE, Delft, Netherlands, www. waterfootprint.org/Reports/Report26-Verkerk-et-al-2008GlobalWaterGovernance. pdf

Verma, S., Kampman, D. A., Van der Zaag, P. and Hoekstra, A. Y. (2009) 'Going against the flow: A critical analysis of inter-state virtual water trade in the context of India's National River Linking Programme', Physics and Chemistry of the Earth, vol 34, pp261–269

Wackernagel, M. and Rees, W. (1996) Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth, New Society Publishers, Gabriola Island, BC, Canada

Wang, H. R. and Wang, Y. (2009) 'An input-output analysis of virtual water uses of the three economic sectors in Beijing', Water International, vol 34, no 4, pp451–467

Water Neutral (2002) 'Get water neutral!', brochure distributed among delegates at the 2002 World Summit on Sustainable Development in Johannesburg, The Water Neutral Foundation, Johannesburg, South Africa.

WCED (World Commission on Environment and Development) (1987) Our Common Future, WCED, Oxford University Press, Oxford

Williams, J. R. (1995) 'The EPIC model', in V. P. Singh (ed) Computer Models of Watershed Hydrology, Water Resources Publisher, CO, pp909–1000

Williams, J. R., Jones, C.A., Kiniry, J. R. and Spanel, D. A. (1989) 'The EPIC crop growth-model', Transactions of the ASAE, vol 32, no 2, pp497–511

WRI and WBCSD (World Resources Institute and World Business Council for Sustainable Development) (2004) The Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard, revised edition, WRI, Washington, DC andWBCSD, Conches-Geneva, www.ghgprotocol.org/files/ghg-protocol-revised.pdf

WWAP (World Water Assessment Programme) (2009) The United Nations World Water Development Report 3: Water in a Changing World, WWAP, UNESCO Publishing, Paris, and Earthscan, London WWF (2008) Living Planet Report 2008, WWF International, Gland, Switzerland.

WWF (2010) Living Planet Report 2010, WWF International, Gland, Switzerland. Yang, H., Zhou, Y. and Liu, J. G. (2009) 'Land and water requirements of biofuel and implications for food supply and the environment in China', Energy Policy, vol 37, no 5, pp1876–1885

Yu, Y., Hubacek. K., Feng, K. S. and Guan, D. (2010) 'Assessing regional and global water footprints for the UK', Ecological Economics, vol 69, no 5, pp1140–1147

Zarate, E. (ed) (2010a) 'WFN grey water footprint working group final report: A joint study developed by WFN partners', Water Footprint Network, Enschede, Netherlands

Zarate, E. (ed) (2010b) 'WFN water footprint sustainability assessment working group final report: A joint study developed by WFN partners', Water Footprint Network, Enschede, Netherlands

Zeitoun, M., Allan, J. A. and Mohieldeen, Y. (2010) 'Virtual water "flows" of the Nile Basin, 1998–2004: A first approximation and implications for water security', Global Environmental Change, vol 20, no 2, pp229–242

Zhao, X., Chen, B. and Yang, Z. F. (2009) 'National water footprint in an inputoutput framework: A case study of China 2002', Ecological Modelling, vol 220, no 2, pp245–253

Zwart, S. J., Bastiaanssen, W. G. M., De Fraiture, C. and Molden, D. J. (2010) 'A global benchmark map of water productivity for rainfed and irrigated wheat', Agricultural Water Management, vol 97, no 10, pp1617–1627

Lista de símbolos

Símbolo	***Unidade[a]***	***Explicação***
α	-	fração de lixiviação de escoamento, por exemplo, fração de substâncias químicas aplicadas que atinge os corpos d'água
Apl	massa/tempo	aplicação de uma substância química (fertilizante ou pesticida) por unidade de tempo
AR	massa/área	taxa de aplicação de uma substância química (fertilizante ou pesticida) por unidade de terra
C	massa/tempo	consumo de um produto
Cap	volume/tempo	volume de captação de água
c_{atual}	massa/volume	concentração real de uma substância química em um corpo d'água de onde a água é extraída
c_{efl}	massa/volume	concentração de uma substância química em um efluente
c_{max}	massa/volume	concentração máxima aceitável de uma substância química em um corpo d'água receptor
c_{nat}	massa/volume	concentração natural de uma substância química em um corpo d'água receptor
DHC	duração/tempo	demanda hídrica da cultura
DHC_{azul}	volume/área	demanda de água azul para a cultura
DHC_{verde}	volume/área	demanda de água verde para a cultura
E	moeda/tempo	valor econômico total de um produto produzido em uma unidade da empresa
Efl	volume/tempo	volume do efluente (vazão da água residual)
DVA	volume/tempo	demanda de vazão ambiental
ET_a	duração/tempo	evapotranspiração ajustada da cultura (sob condições reais)
ET_{azul}	duração/tempo	evapotranspiração da água azul
ET_c	duração/tempo	evapotranspiração da cultura (sob condições ótimas)
ET_{amb}	volume/tempo	evapotranspiração da terra reservada para a vegetação natural
ET_{verde}	duração/tempo	evapotranspiração da água verde
ET_o	duração/tempo	evapotranspiração da cultura de referência
ET_{improd}	volume/tempo	evapotranspiração da terra que não pode se tornar produtiva na produção da cultura
$f_P[p,i]$	-	fração de produto do produto final *p* produzido a partir de um insumo *i*

Símbolo	***Unidade[a]***	***Explicação***
$f_V[p]$	-	fração do valor do produto final *p*
IR	duração/tempo	necessidade de irrigação
K_c	-	coeficiente de cultura
K_{bc}	-	coeficiente basal de cultura
K_e	-	coeficiente da evaporação do solo
K_s	-	coeficiente de estresse hídrico
L	massa/tempo	carga de um poluente
L_{crit}	massa/tempo	carga crítica de um poluente
Prod	massa/tempo [b]	quantidade produzida de um produto
P_{eft}	duração/tempo	precipitação efetiva total
preço	moeda/massa	preço de um produto
Q_{atual}	volume/tempo	vazão atual de uma bacia
Q_{nat}	volume/tempo	vazão natural de uma bacia (sem a existência de uma pegada hídrica azul na bacia)
E_g	volume/tempo	economia global de água através da comercialização de um produto
E_n	volume/tempo	economia nacional de água através da comercialização de um produto
T	massa/tempo [b]	volume de comercialização de um produto
T_e	massa/tempo [b]	volume de exportação de um produto
T_i	massa/tempo [b]	volume de importação de um produto
T_{efl}	temperatura	temperatura de um efluente
T_{max}	temperatura	temperatura máxima aceitável para um corpo d'água receptor
T_{nat}	temperatura	temperatura natural de um corpo d'água receptor
V_b	volume/tempo	balanço de água virtual de uma área delimitada (ex.:. um país)
V_e	volume/tempo	exportação bruta de água virtual de uma área delimitada (e.g. um país)
$V_{e,d}$	volume/tempo	exportação bruta de água virtual referente à exportação de produtos fabricados no país
$V_{e,r}$	volume/tempo	exportação bruta de água virtual referente à re-exportação de produtos importados
V_i	volume/tempo	importação bruta de água virtual para uma área delimitada (e.g. um país)
$V_{i,líq}$	volume/tempo	importação líquida de água virtual para uma área delimitada (e.g. um país)
peso[i]	massa	quantidade de insumos *i*
peso[p]	massa	quantidade de produtos finais *p*
DA_{azul}	volume/tempo	disponibilidade de água azul
DA_{verde}	volume/tempo	disponibilidade de água verde
DA	%	dependência nacional de importação de água virtual

Símbolo	***Unidade[a]***	***Explicação***
$PH_{área}$	volume/tempo	pegada hídrica dentro de uma área delimitada geograficamente
$PH_{área,nat}$	volume/tempo	pegada hídrica de um país
PH_{emp}	volume/tempo	pegada hídrica de uma empresa
$PH_{emp,oper}$	volume/tempo	pegada hídrica operacional de uma empresa
$PH_{emp,supr}$	volume/tempo	pegada hídrica da cadeia de suprimento de uma empresa
PH_{cons}	volume/tempo	pegada hídrica de um consumidor
$PH_{cons,dir}$	volume/tempo	pegada hídrica direta de um consumidor
$PH_{cons,indir}$	volume/tempo	pegada hídrica indireta de um consumidor
$PH_{cons,país}$	volume/tempo	pegada hídrica do consumo nacional
$PH_{cons,país,dir}$	volume/tempo	pegada hídrica direta dos consumidores de um país
$PH_{cons,país,indir}$	volume/tempo	pegada hídrica indireta dos consumidores de um país
$PH_{cons,país,ext}$	volume/tempo	pegada hídrica externa dos consumidores de um país
$PH_{cons,país,int}$	volume/tempo	pegada hídrica interna dos consumidores de um país
PH_{proc}	volume/tempo [c]	pegada hídrica de um processo
$PH_{proc,azul}$	volume/tempo [c]	pegada hídrica azul de um processo
$PH_{proc,verde}$	volume/tempo [c]	pegada hídrica verde de um processo
$PH_{proc,cinza}$	volume/tempo [c]	pegada hídrica cinza de um processo
PH_{prod}	volume/massa [b]	pegada hídrica de um produto
PH^*_{prod}	volume/massa [b]	pegada hídrica média de um produto conforme sua disponibilidade para o consumidor ou para exportação
$IIPH_{azul}$	-	índice de impacto da pegada hídrica azul
$IIPH_{verde}$	-	índice de impacto da pegada hídrica verde
$IIPH_{cinza}$	-	índice de impacto da pegada hídrica cinza
NPA	-	nível de poluição da água em uma área de bacia em um período específico do ano
EA_{azul}	-	escassez de água azul em uma área de bacia em um período específico do ano
EA_{verde}	-	escassez de água verde em uma área de bacia em um período específico do ano
ASN	%	autossuficiência hídrica nacional
Prtv	massa/área	produtividade da cultura

Dimensão	***Explicação***
i	insumo
n	país
ne	país exportador
ni	país exportador
p	produto final
q	processo

Dimensão	***Explicação***
s	passo do processo
t	tempo
u	unidade da empresa
x	local / local de origem

a A unidade de cada variável é expressa aqui em termos gerais (massa, duração, superfície, volume, tempo). Para os cálculos da pegada hídrica, consideramos que a massa é normalmente expressa em kg ou ton, o volume em litros ou m^3 e o tempo em dia, mês ou ano. Variáveis como precipitação, evapotranspiração e demanda de água para a cultura geralmente são expressas em mm por dia, mês ou ano. A produção e o uso da água para a cultura geralmente são expressos em ton/ha e m^3/ha, respectivamente. As quantidades de água normalmente são como volume, considerando que 1 litro de água equivale a 1 kg. Com base nessa consideração, os balanços de massa se traduzem em balanços de volume. Obviamente, é essencial especificar a unidade que foi utilizada quando apresentamos números.

b A pegada hídrica de um produto é geralmente expressa em termos de volume de água por unidade de massa. Nesse caso, precisamos expressar a produção, o consumo e a comercialização dos produtos em termos de massa/tempo. A pegada hídrica de um produto, no entanto, também pode ser expressa em termos de volume de água por unidade monetária. Nesse caso, precisamos expressar a produção, o consumo e a comercialização dos produtos em termos de unidade monetária/tempo. Outras alternativas para expressar a pegada hídrica de um produto incluem, por exemplo, volume de água/unidade (para produtos que são contados por unidade ao invés de peso), volume de água/kcal (no caso de produtos alimentícios) ou volume de água/joule (no caso da eletricidade ou dos combustíveis).

c A pegada hídrica de um processo é geralmente expressa em termos de volume de água por unidade de tempo. No entanto, ao dividir a quantidade de produtos que resulta do processo (unidades de produto/tempo), a pegada hídrica de processo também pode ser expressa em termos de volume de água por unidade de produto.

Glossário

Água Azul – Água superficial e subterrânea, isto é, a água em lagos, rios e aqüíferos.

Água Neutro – um processo, produto, consumidor, comunidade ou negócio é 'água neutro' quando: (i) sua pegada hídrica foi reduzida até onde possível, particularmente em locais com um alto grau de escassez de água ou de poluição; e (ii) quando as externalidades negativas (ambientais, sociais e econômicas) da pegada hídrica remanescente foram contrabalançadas (compensadas). Em alguns casos particulares, quando a interferência com o ciclo da água pode ser completamente evitada – por exemplo, pela reciclagem total da água e desperdício zero – o termo 'água neutro' significa que a pegada hídrica foi anulada; em outros casos, como no desenvolvimento das lavouras, a pegada hídrica não pode ser anulada. Portanto, 'água neutro' não significa necessariamente que a pegada hídrica foi zerada, mas que ela foi reduzida tanto quanto possível e que as externalidades negativas (econômicas, sociais e ambientais) da pegada hídrica remanescente foram totalmente compensadas.

Água verde – a precipitação sobre a terra que não escoa ou recarrega os aqüíferos, mas é armazenada no solo ou temporariamente sobre o solo ou a vegetação. Eventualmente, esta parte da precipitação evapora ou transpira através das plantas. A água verde pode se tornar produtiva para o crescimento das plantas (embora nem toda água verde possa ser absorvida por elas, porque sempre haverá evaporação do solo e porque nem todos os períodos do ano ou áreas são adequados para o crescimento das plantações).

Apropriação da água – este é um termo usado no contexto da avaliação da pegada hídrica para se referir tanto ao 'consumo' da água para as atividades humanas (pegada hídrica azul e verde) e a 'poluição' da água por estas atividades (pegada hídrica cinza).

Árvore de produto – veja 'sistema de produção'

Autossuficiência de água x dependência de água de uma nação – a 'autossuficiência de água' de um país é definida como a razão entre a pegada hídrica interna e aquela do consumo nacional. Ela denota o grau no qual um país supre a água necessária para a produção da demanda doméstica por bens e serviços. A autossuficiência é de 100% se toda a água necessária está disponível e também é captada dentro do seu próprio território. A autossuficiência em água se aproxima de zero se a demanda pelos bens e

serviços em um país é atendida dominantemente com a importação de água virtual. Países que importam água virtual de fato dependem dos recursos hídricos disponíveis em outras partes do mundo. A dependência da importação de água virtual de um país é definida como a razão entre a pegada hídrica externa e a pegada hídrica total do consumo nacional.

Avaliação da pegada hídrica – a avaliação da pegada hídrica se refere ao leque de atividades para: (i) quantificar e localizar a pegada hídrica de um processo, produto, produtor ou consumidor ou quantificar no espaço e no tempo a pegada hídrica em uma determinada área geográfica; (ii) avaliar a sustentabilidade ambiental, social e econômica dessa pegada hídrica; e (iii) formular uma estratégia de resposta.

Avaliação da sustentabilidade da Pegada Hídrica – a fase na avaliação da pegada hídrica que objetiva verificar se certa pegada hídrica é sustentável de um ponto de vista ambiental, social e econômico.

Balanço de Água Virtual – o balanço de água virtual de uma área delimitada geograficamente (por exemplo, um país ou uma bacia), em certo período de tempo, é definido como a importação líquida de água virtual neste período que é igual à importação menos a exportação bruta de água virtual. Um balanço positivo de água virtual implica em um fluxo líquido de entrada de água virtual para o país vindo de outros países. Um balanço negativo significa um fluxo líquido de saída de água virtual.

Captação de Água – o volume de extração de água superficial ou subterrânea. Parte da água captada irá evaporar, outra parte retornará à bacia onde ela foi captada e ainda outra parte poderá retornar para outra bacia ou para o mar.

Carga crítica – a carga de poluentes que irá exaurir totalmente a capacidade de assimilação do corpo d'água receptor.

Compensação da Pegada Hídrica – a compensação dos impactos negativos da pegada hídrica é parte do seu processo de neutralização. Compensar é o último passo depois de um esforço inicial de reduzir a pegada hídrica enquanto seja possível. A compensação pode ser feita contribuindo para (por exemplo, investindo em) um uso mais sustentável e equitativo da água nas unidades hidrológicas nas quais os impactos remanescentes da pegada hídrica estão localizados.

Concentração máxima aceitável – veja 'padrões ambientais de qualidade de água'.

Concentração Natural – a concentração de base ou natural em um corpo d'água receptor é a concentração que ocorreria neste corpo d'água se não houvesse perturbações antrópicas na bacia. (Isto corresponde à condição de 'status excelente', conforme definido na Diretiva Européia de Recursos Hídricos).

Consumo de água – o volume de água usado e posteriormente evaporado ou incorporado em um produto. Ele também inclui a água captada das fontes superficiais ou subterrâneas em uma bacia e lançadas em outra bacia ou no mar. É importante distinguir o termo 'consumo de água' do termo 'captação de água' ou 'extração de água'.

Contabilização da Pegada Hídrica – é o passo na avaliação da pegada hídrica que se refere à obtenção de dados fatuais e empíricos em pegadas hídricas com um escopo e profundidades previamente definidos.

Conteúdo de água virtual – o conteúdo de água virtual de um produto é a água 'embutida' no produto, não no sentido real, mas no sentido virtual. Ele se refere ao volume de água consumido ou poluído para elaborar o produto, medido ao longo de toda a cadeia produtiva. Se uma nação exporta/importa um determinado produto, ela exporta/importa água na forma virtual. O 'conteúdo de água virtual de um produto' é o mesmo que a 'pegada hídrica de um produto', mas a primeira expressão se refere exclusivamente ao volume de água incorporado no produto, enquanto a segunda se refere a este volume e também ao tipo de água que está sendo usada e quando e onde ela está sendo usada. A pegada hídrica de um produto é assim um indicador multidimensional, enquanto o conteúdo de água virtual se refere somente ao volume.

Critérios de Sustentabilidade – os critérios de sustentabilidade são geralmente classificados em três temas principais: sustentabilidade ambiental, social e econômica.

Demanda Hídrica da Cultura – a água total necessária para a evapotranspiração, do plantio à colheita para uma determinada cultura, em um regime climático específico quando a quantidade adequada de água no solo é mantida pela precipitação e/ou irrigação, de tal forma que não limite o desenvolvimento da planta e a produtividade da cultura.

Demanda ambiental de água verde – a quantidade de água verde das terras que precisam ser reservadas para preservação da natureza e da biodiversidade e para o modo de vida das comunidades que dependem destes ecossistemas em seus estados naturais.

Disponibilidade de água azul – escoamento natural (pelos rios e aqüíferos) menos as demandas de vazões ambientais. A disponibilidade de água azul geralmente varia ao longo do ano e entre anos diferentes.

Disponibilidade de água verde – a evapotranspiração da água de chuva do solo menos a evapotranspiração do solo reservada para vegetação natural e menos a evapotranspiração do solo que não pode ser utilizada para produção agrícola.

Escassez de Água Azul – a razão entre a pegada hídrica azul e a disponibilidade de água azul. A escassez de água azul varia ao longo do ano e de um ano para outro.

Escassez de Água Verde – a razão entre a pegada hídrica verde e a disponibilidade de água verde. A escassez de água verde varia ao longo do ano e de um ano para outro.

Evapotranspiração – evaporação do solo e da superfície do solo onde as culturas são cultivadas, incluindo a transpiração da água que realmente passa pelas culturas.

Exportação de água virtual – a exportação de água virtual de uma área delimitada geograficamente (por exemplo, um país ou uma bacia) é o volume de água virtual associado com a exportação dos bens e serviços desta área. Ela é o volume total de água consumido ou poluído no processo de produção dos bens para exportação.

Extração de água – veja 'captação de água'.

Fator de Diluição – o número de vezes que o volume de um efluente deve ser diluído com água do ambiente natural para atingir o nível de concentração máximo aceitável.

Fluxo de água virtual – o fluxo de água virtual entre duas áreas delimitadas geograficamente (por exemplo, um país ou uma bacia) é o volume de água virtual que está sendo transferido de uma área para outra como resultado do comércio de um produto.

Impactos primários – o termo 'impactos primários' é usado no contexto da avaliação da sustentabilidade da pegada hídrica em uma área geográfica. Impactos primários se referem ao efeito da pegada hídrica sobre a quantidade e qualidade da água de uma bacia.

Impactos secundários – o termo 'impactos secundários' é usado, assim como o termo 'impactos primários', no contexto da avaliação da sustentabilidade da pegada hídrica em uma área geográfica. Impactos secundários se referem aos impactos da pegada hídrica nos valores ecológicos, sociais e econômicos tais como a biodiversidade, a saúde, o bem-estar e a segurança humanos.

Importação de água virtual – a importação de água virtual para uma área delimitada geograficamente (por exemplo, um país ou uma bacia) é o volume de água virtual associado com a importação dos bens e serviços para esta área. Ela é o volume total de água usado (na área de exportação) para se elaborar os produtos. Na perspectiva da área de importação esta água pode ser considerada como uma fonte adicional que se sobrepõe às fontes disponíveis na própria área.

Índice de impacto da Pegada Hídrica Azul - uma medida agregada e ponderada do impacto ambiental de uma pegada hídrica azul no nível de bacia. Ele é baseado em duas entradas: (i) a pegada hídrica azul de um produto, consumidor ou produtor específico por bacia e por mês; e (ii) a escassez de água azul por bacia e mês. O índice é obtido multiplicando as duas matrizes e então somando os elementos da matriz resultante. O resultado pode ser interpretado como uma pegada hídrica azul ponderada pela escassez de água azul nos locais e períodos aonde ocorrem os vários componentes da pegada hídrica azul.

Índice de impacto da Pegada Hídrica Cinza - uma medida agregada e ponderada do impacto ambiental de uma pegada hídrica cinza no nível de bacia. Ele é baseado em dois parâmetros de entrada: (i) a pegada hídrica cinza de um produto, consumidor ou produtor específico por bacia e por mês; e (ii) o nível de poluição por bacia e mês. O índice é obtido multiplicando as duas matrizes e então somando os elementos da matriz resultante. O resultado pode ser interpretado como uma pegada hídrica cinza ponderada de acordo com o nível de poluição de água nos locais e períodos onde os vários componentes da pegada hídrica cinza ocorrem.

Índice de impacto da Pegada Hídrica Verde - uma medida agregada e ponderada do impacto ambiental de uma pegada hídrica verde no nível de bacia. Ele é baseado em dois parâmetros de entrada: (i) a pegada hídrica verde de um produto, consumidor ou produtor específico por bacia e mês; e (ii) a escassez de água verde por bacia e mês. O índice é obtido multiplicando as duas matrizes e então somando os elementos da matriz resultante. O resultado pode ser interpretado como uma pegada hídrica verde ponderada pela escassez de água verde nos locais e períodos aonde os vários componentes da pegada hídrica verde ocorrem.

Nível de poluição da água – grau de poluição do fluxo de escoamento superficial medido como a fração da capacidade de assimilação de efluente do escoamento atualmente consumida. Um nível de poluição da água de 100% significa que a capacidade de assimilação do fluxo de escoamento superficial do escoamento foi totalmente consumida.

Padrões de Qualidade da Água – a quantidade máxima permitida de uma substância em rios, lagos ou água subterrânea, dada em concentração. Estes padrões também podem se referir a outras propriedades da água, como temperatura ou pH. Padrões são definidos para prevenir contra efeitos adversos previsíveis sobre a saúde e o bem-estar humanos, da vida selvagem ou o funcionamento dos ecossistemas.

Pegada Hídrica – a pegada hídrica é um indicador do uso da água associado ao seu uso direto e indireto feito por um consumidor ou produtor. A pegada hídrica de um indivíduo, comunidade ou negócio é definida como o volume total de água usada para produzir os bens e serviços consumidos por este indivíduo ou comunidade ou produzido pelas empresas. O uso da água é medido em termos dos volumes de água consumidos (evaporado ou incorporado no produto) e/ou poluído por unidade de tempo. Uma pegada hídrica pode ser calculada para um produto particular, para qualquer grupo bem definido de consumidores (por exemplo, um indivíduo, família, vila, cidade, estado ou país) ou produtores (por exemplo, uma organização pública, empresa privada ou setor econômico). A pegada hídrica é um indicador geográfico explícito, mostrando não somente os volumes de água usados e a poluição, mas também sua localização.

Pegada Hídrica Adicional – a pegada hídrica de um produto consiste de dois elementos: o uso da água que pode ser diretamente relacionado ao produto e o uso da água em atividades adicionais. O último elemento é chamado de 'pegada hídrica

adicional'. A pegada hídrica adicional se refere ao uso da água que, inicialmente, não pode ser associado com a elaboração do produto específico considerado, mas se refere ao uso que se associa com as atividades de suporte e aos insumos usados no negócio, que produzem não apenas este produto específico, bem como outros produtos. A pegada hídrica adicional de um negócio tem de ser distribuída pelos seus vários produtos, o que é feito baseado no valor relativo por produto. A pegada hídrica adicional inclui, por exemplo, a água utilizada nos banheiros e nas cozinhas de uma fábrica e a água usada na elaboração do concreto e do aço usado numa fábrica e nos maquinários.

Pegada Hídrica Azul – volume de água superficial e subterrânea consumida pela produção de um bem ou serviço. O consumo se refere ao volume de água usado e então evaporado ou incorporado ao produto. Ela também inclui água captada de uma fonte superficial ou subterrânea em uma bacia e lançada em outra bacia ou no mar. Ela é a quantidade de água captada de uma fonte superficial ou subterrânea que não retorna para a bacia da qual ela foi retirada.

Pegada Hídrica Cinza – a pegada hídrica cinza de um produto é um indicador da poluição da água que pode ser associado com a elaboração do produto ao longo de toda sua cadeia produtiva. Ela é definida como o volume de água necessário para assimilar a carga de poluentes baseada nas concentrações naturais e em padrões de qualidade de água existentes. Ela é computada como o volume de água necessário para diluir os poluentes em um nível em que a qualidade da água permanece acima dos padrões definidos.

Pegada Hídrica Corporativa – Veja 'pegada hídrica de um negócio'.

Pegada Hídrica da Cadeia Produtiva de um Negócio – a pegada hídrica indireta ou da cadeia produtiva é o volume de água consumido ou poluído ao se produzir todos os bens e serviços que formam os insumos da produção de um negócio.

Pegada Hídrica da Empresa – Veja 'pegada hídrica de um negócio'.

Pegada Hídrica da produção nacional – outro termo para 'pegada hídrica interna de um país'.

Pegada Hídrica dentro de uma área delimitada geograficamente – é definida como o volume total de água consumido e poluído dentro dos limites de uma área específica. A área pode ser, por exemplo, uma unidade hidrológica como uma bacia hidrográfica ou uma unidade administrativa, como um município, estado ou país.

Pegada Hídrica dentro de um país – é definida como o volume total de água consumido ou poluído dentro do território de um país.

Pegada Hídrica de um Consumidor – é definida como o volume total de água consumido e poluído pela produção de bens e serviços consumidos pelo consumidor.

Ela é calculada adicionando o uso direto e indireto da água pelas pessoas. O uso indireto pode ser obtido multiplicando-se todos os bens e serviços consumidos pelas suas respectivas pegadas hídricas.

Pegada Hídrica de um negócio – a pegada hídrica de um negócio – que também pode ser chamada alternativamente de pegada hídrica corporativa ou organizacional – é definida como o volume total de água usado direta e indiretamente para conduzir e dar suporte a um negócio. A pegada hídrica de um negócio possui dois componentes: o uso direto da água pelo produtor (para produzir/manufaturar ou para dar suporte às atividades) e o uso indireto da água (o uso da água na cadeia produtiva do produtor). A 'pegada hídrica de um negócio' é o mesmo que a 'pegada hídrica total dos produtos do negócio'.

Pegada Hídrica de um produto – a pegada hídrica de um produto (uma mercadoria, bem ou serviço) é o volume total de água usado para elaborar o produto, somado ao longo dos vários passos da cadeia produtiva. A pegada hídrica de um produto se refere não somente ao volume total de água usado, mas também a onde e quando a água é usada.

Pegada Hídrica Direta – a pegada hídrica direta de um consumidor ou produtor (ou um grupo de consumidores ou produtores) se refere ao consumo de água e a poluição que está associada ao uso da água pelo consumidor ou produtor. Ela é diferente da pegada hídrica indireta, que se refere ao consumo de água e à poluição que pode ser associada com a produção de bens e serviços consumidos pelo consumidor ou os insumos usados pelo produtor.

Pegada Hídrica do Consumo Nacional – é definida como o volume total de água usado para produzir os bens e serviços consumidos pelos habitantes de uma nação. A pegada hídrica do consumo nacional pode ser avaliada de duas formas. A abordagem 'de baixo para cima' considera a soma de todos os produtos consumidos multiplicados pelas respectivas pegadas hídricas. Na abordagem 'de cima para baixo', ela é calculada como o uso total dos recursos hídricos locais mais a importação bruta de água virtual, menos exportação bruta de água virtual.

Pegada Hídrica do Uso Final de um Produto – quando o consumidor usa um produto pode haver uma pegada hídrica no estágio final de uso, tal como a poluição da água que resulta do uso de sabões nas residências. Neste caso, pode-se falar da pegada hídrica do uso final de um produto. Esta pegada não é, estritamente falando, parte da pegada hídrica do produto, mas da pegada do consumidor.

Pegada Hídrica Externa do Consumo Nacional – a parte da pegada hídrica do consumo nacional fora do país considerado. Ela se refere à apropriação dos recursos hídricos em outras nações pela produção de bens e serviços que são importados e consumidos dentro da nação considerada.

Pegada Hídrica Indireta – a pegada hídrica indireta de um consumidor ou produtor se refere ao consumo de água e a poluição 'por trás' dos produtos sendo consumidos ou produzidos. Ela é igual à soma das pegadas hídricas de todos os produtos consumidos pelo consumidor ou de todos os insumos (que não sejam água) usados pelo produtor.

Pegada Hídrica Interna do consumo nacional – a parte da pegada hídrica do consumo nacional que está dentro do país considerado, isto é, a apropriação dos recursos hídricos locais para a produção de bens e serviços que são consumidos internamente.

Pegada Hídrica Nacional – é o que seria mais corretamente chamado de 'pegada hídrica do consumo nacional', que é definida por sua vez como o volume total de água usado para produzir os bens e serviços consumidos pelos habitantes de um país. Parte desta pegada hídrica vem de fora do território do país. O termo não deve ser confundido com 'pegada hídrica interna de um país', que se refere ao volume total de água consumido ou poluído dentro do território do país.

Pegada Hídrica Operacional de um Negócio – a pegada hídrica operacional (ou direta) de um negócio é o volume de água consumido ou poluído em função de suas operações.

Pegada Hídrica Organizacional – veja 'pegada hídrica de um negócio'.

Pegada Hídrica Verde – volume de água de chuva consumida durante o processo de produção. Ela é particularmente relevante para produtos agrícolas e florestais relativa à evapotranspiração total da água precipitada (dos campos e plantações) mais a água incorporada no produto colhido ou na madeira.

Ponto Crítico – é um período específico do ano (como o período seco, por exemplo) em uma (sub-) bacia específica no qual a pegada hídrica não é sustentável, por exemplo, porque ela compromete a demanda ambiental ou os padrões de qualidade da água ou porque o uso e a alocação de água na bacia é considerado injusto e/ou economicamente ineficiente.

Precipitação efetiva – a porção da precipitação total que é retida pelo solo e que fica disponível para a produção agrícola.

Produtividade da água – unidades de produto elaboradas por unidade de água consumida ou poluída. A produtividade da água (unidades de produto/m^3) é o inverso da pegada hídrica (m^3/unidades de produto). A produtividade da água azul se refere às unidades de produto obtidas por m^3 de água azul consumida. A produtividade da água verde se refere às unidades de produto obtidas por m^3 de água verde consumida. A produtividade da água cinza se refere às unidades de produto obtidas por m^3 de água cinza produzida. O termo 'produtividade da água' é similar à produtividade do trabalho e da terra, mas agora a produção é dividida pelo volume de água utilizado. Quando a

produtividade da água é medida em unidades monetárias e não unidades físicas por unidade de água, pode-se falar em produtividade econômica da água.

Produtividade da Safra – peso da produção da cultura colhida por unidade de área plantada.

Redução do consumo global de água através do comércio – o comércio internacional pode economizar água globalmente se uma mercadoria gerada com uso intensivo de água for comercializada de uma área aonde ela é produzida com uma alta produtividade hídrica (uma pegada hídrica pequena) para uma área com baixa produtividade hídrica (pegada hídrica grande).

Redução do consumo nacional de água através do comércio – um país pode preservar seus recursos hídricos importando um produto de uso intensivo de água ao invés de produzi-lo localmente.

Requisitos de Irrigação – a quantidade de água demandada para a produção agrícola além da precipitação, ou seja, a quantidade de água de irrigação necessária para o desenvolvimento normal da lavoura. Isto inclui a evaporação do solo e algumas perdas inevitáveis sob determinadas condições. Ela é geralmente expressa em milímetros de água e pode ser medida mensalmente, por estação, anualmente ou ainda por período da cultura.

Sistema de produção – o sistema de produção de um produto consiste de todos os passos seqüenciais dos processos aplicados para produzi-lo. O sistema de produção pode ser uma cadeia linear de processos, pode ter a forma de uma árvore de produto (muitas entradas resultando em um único produto) ou pode ser como uma rede complexa de processos interligados que ao final levam a um ou mais produtos.

Sustentabilidade Geográfica – a sustentabilidade geográfica das pegadas hídricas verde, azul e cinza em uma bacia hidrográfica pode ser avaliada com base em um grupo de critérios de sustentabilidade ambiental, social e econômica.

Vazão de retorno – a parte da água captada para uso agrícola, industrial ou doméstico que retorna para os aqüíferos, rios ou lagos na mesma bacia aonde ela foi captada. Esta água pode ser potencialmente captada e usada novamente.

Vazões ambientais – a quantidade, qualidade e a temporalidade das vazões requeridas para manter a saúde dos ecossistemas estuarinos e de água doce, bem como o modo de vida e o bem-estar das comunidades que dependem destes ecossistemas.

Usamos muita água para beber, cozinhar e lavar, mas significativamente muito mais para produzir alimentos, papel e roupas de algodão. A Pegada Hídrica é um indicador do uso da água que considera tanto o uso direto quanto o indireto de um consumidor ou produtor. O uso indireto se refere à 'água virtual' incorporada em produtos e mercadorias comercializáveis, tais como cereais, açúcar ou água. A Pegada Hídrica de um indivíduo, comunidade ou empresa é definida como o volume total de água usado para produzir os bens e serviços consumidos por este indivíduo ou comunidade ou produzidos pela empresa.

Este livro oferece uma visão completa e atualizada do padrão global para avaliação da Pegada Hídrica desenvolvido pela Rede da Pegada Hídrica (Water Footprint Network). Mais especificamente este livro:

- Provê um conjunto de métodos compreensíveis para avaliação da Pegada Hídrica;
- Mostra como uma Pegada Hídrica pode ser calculada para processos e produtos individuais, bem como para consumidores, países e empresas;
- Contém exemplos práticos e detalhados de como calcular as pegadas verde, azul e cinza;
- Descreve como avaliar a sustentabilidade da Pegada Hídrica total dentro de uma bacia ou de um produto específico; e
- Inclui uma ampla lista de medidas que podem contribuir para a redução da Pegada Hídrica.

Arjen Y. Hoekstra é Professor de Gerenciamento de Recursos Hídricos na Universidade de Twente na Holanda. É o criador do conceito da Pegada Hídrica e diretor científico da Rede da Pegada Hídrica (Water Footprint Network).

Ashok K. Chapagain foi engenheiro agrícola no Nepal por mais de uma década, trabalhou como pesquisador na Universidade de Twente e atualmente trabalha para o WWF no Reino Unido.

Maite M. Aldaya trabalha como consultora do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e é pesquisadora da Rede da Pegada Hídrica.

Mesfin M. Mekonnen foi especialista em energia do Ministério de Minas e Energia da Etiópia e atualmente é estudante de PhD na Universidade de Twente.

The Nature Conservancy
Proteger a natureza é preservar a vida.

WWF

60 EESC-USP 1953 • 2013

Water Footprint NETWORK

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-60797-16-5
9 788560 797165